Desafíos de la seguridad de datos: Big Data y Cómputo Cuántico

Dr. Miguel Morales Sandoval

Cinvestav Tamaulipas

Contenido

- Seguridad y seguridad de datos
- Algoritmos y protocolos para la seguridad de datos
- Reto 1: Big data
  - Almacenamiento y compartición segura
  - Eficiencia
- Reto 2: Cómputo cuántico
  - Year to Quantum
  - Quantum safe
- Comentarios finales
  - Privacidad bajo responsabilidad del propietario

Seguridad de datos

– Objetivos:

- Robo de datos – compromete la Confidencialidad
- Modificación de datos – compromete la Integridad
- Acceso sin permiso – Autenticación/ control de acceso
- Ataque DoS – Disponibiliad

Ataque activo: acceso no autorizado,
modifica los datos.
Ataque pasivo: acceso no autorizado, sin modificaciones en los datos, solo se leen.

DATOS OBJETIVO DE ATAQUES
Datos sensibles de organizaciones
+ Su ventaja competitiva
Datos personales privados de personas
+ Passwords, registros médicos, salarios, personales y de preferencias

Seguridad de datos

– Objetivos:

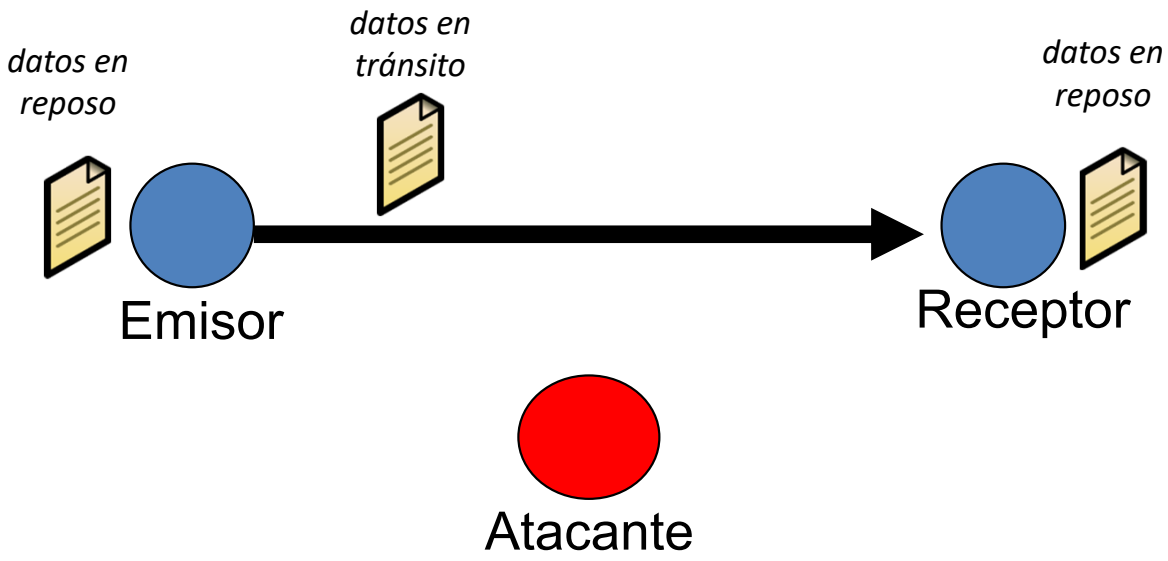
- Robo de datos – compromete la Confidencialidad
- Modificación de datos – compromete la Integridad
- Acceso sin permiso – Autenticación/ control de acceso
- Ataque DoS – Disponibiliad

Garantizar los servicios de seguridad **CIA**

- **C**onfidencialidad – acceso solo a entidades autorizadas
- **I**ntegridad – detectar cambios accidentales o intencionales
- **A**utenticidad – Verificar origen y destino de los datos

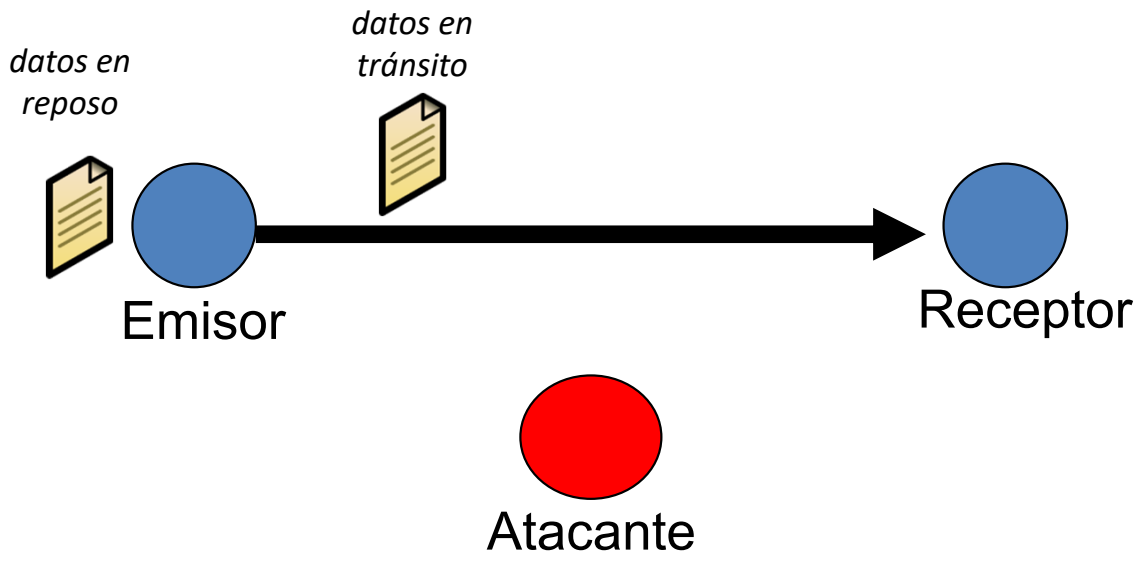
Servicios, amenazas, ataques

Los datos están en *reposo* o en *tránsito*



Servicios, amenazas, ataques

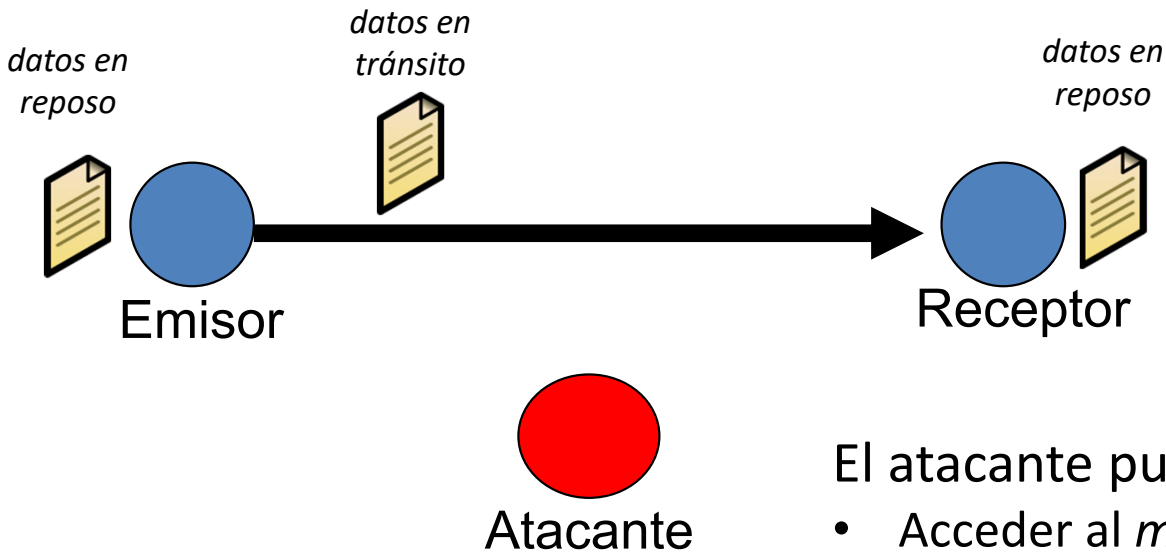
Los datos están en *reposo* o en *tránsito*



- CASO “NORMAL”
  - Los mensajes no son accedidos por entidades externas no autorizadas

Servicios, amenazas, ataques

Los datos están en *reposo* o en *tránsito*

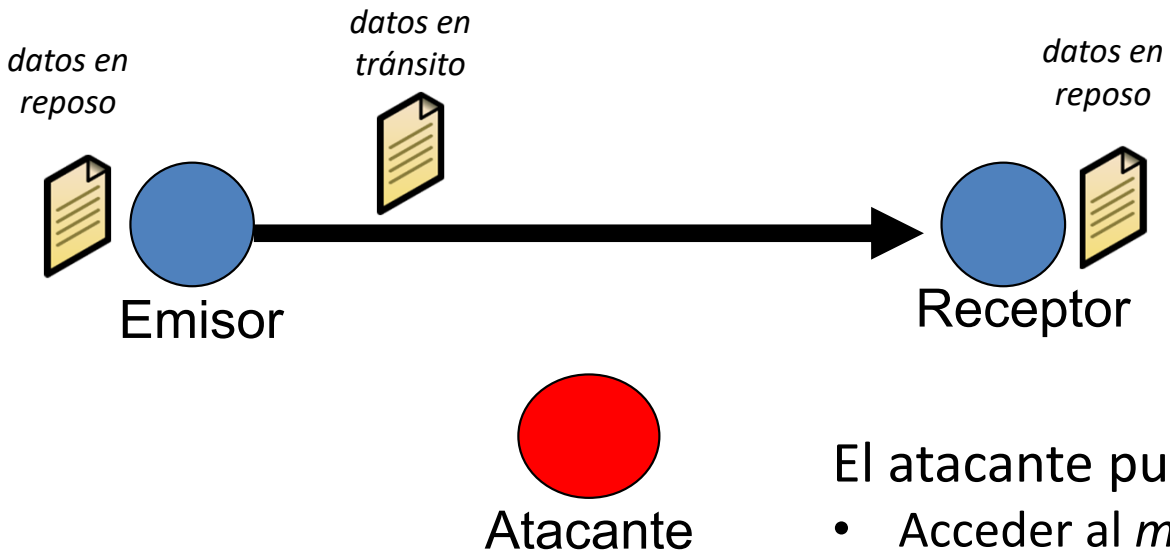


El atacante puede:

- Acceder al *medio de comunicación* (inalámbrico o cableado)
  - Acceder a la red
- Acceder al *dispositivo*
- Acceder a *los sistemas*
- Acceder a *los datos*

Servicios, amenazas, ataques

Los datos están en *reposo* o en *tránsito*



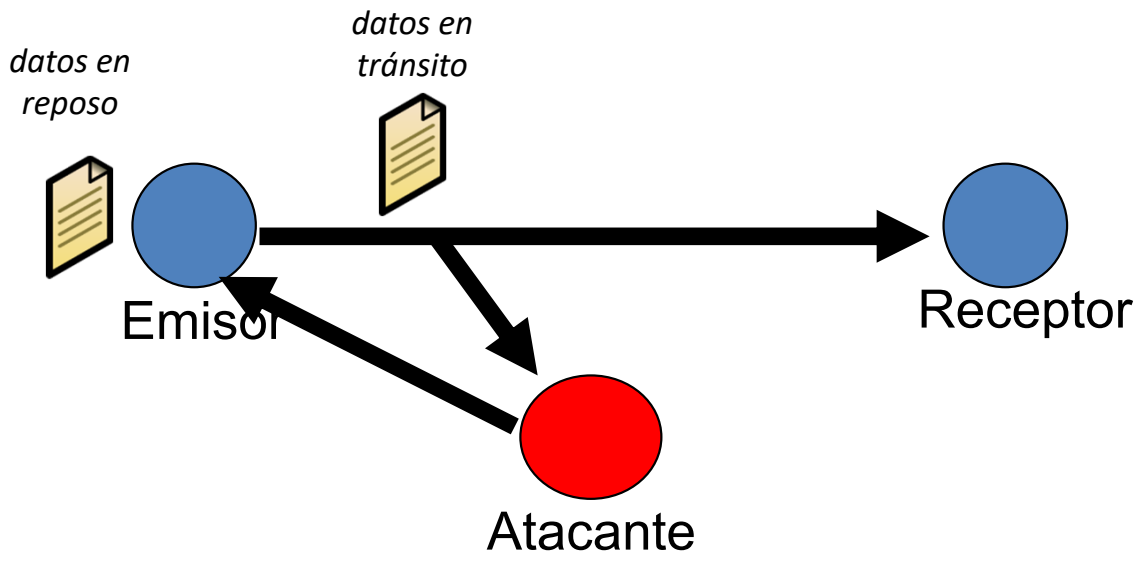
El atacante puede:

- Acceder al *medio de comunicación* (inalámbrico o cableado)
  - Acceder a la red
- Acceder al *dispositivo*
- Acceder a *los sistemas*
- Acceder a *los datos*

Última línea de defensa

Servicios, amenazas, ataques

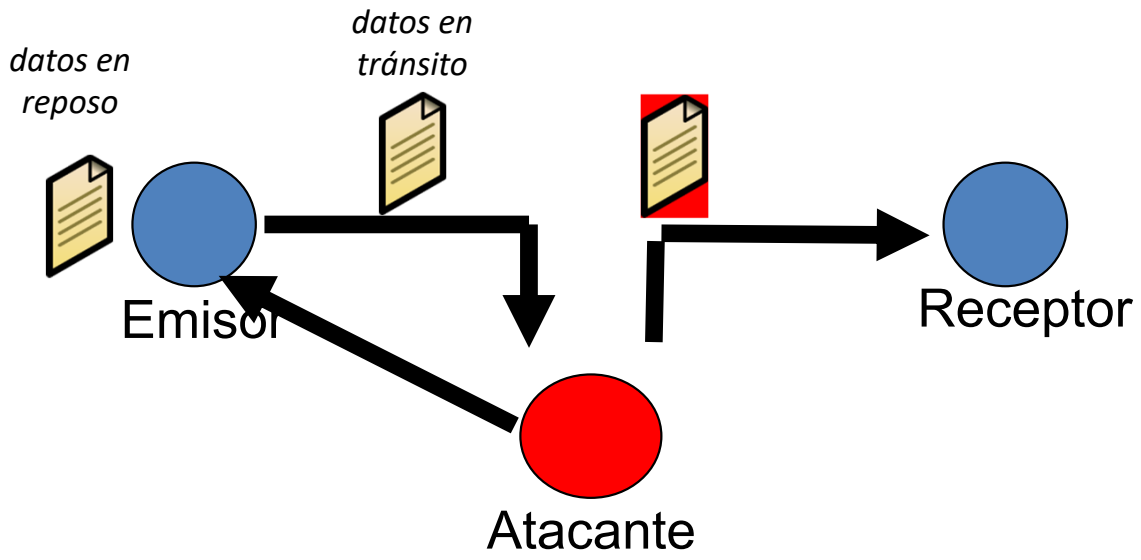
Los datos están en *reposo* o en *tránsito*



- INTERCEPCION
  - El atacante logra el acceso al medio de comunicación
  - Es un ataque contra la *Confidencialidad*.
  - Ejemplos: Escuchas electrónicos, copias ilícitas de programas o datos, escalamiento de privilegios.

Servicios, amenazas, ataques

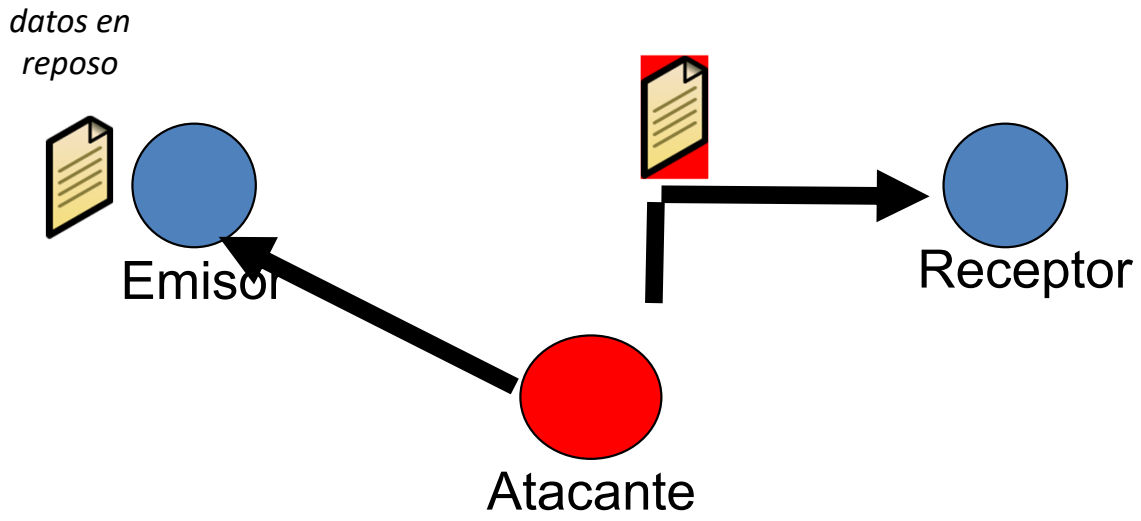
Los datos están en *reposo* o en *tránsito*



- MODIFICACION
  - La persona sin autorización, además de lograr el acceso, modifica el mensaje.
  - Este es un ataque contra la *Integridad*.
  - Ejemplos: Alterar la información que se transmite desde una base de datos, modificar los mensajes entre programas para que se comporten diferente.

Servicios, amenazas, ataques

Los datos están en *reposo* o en *tránsito*

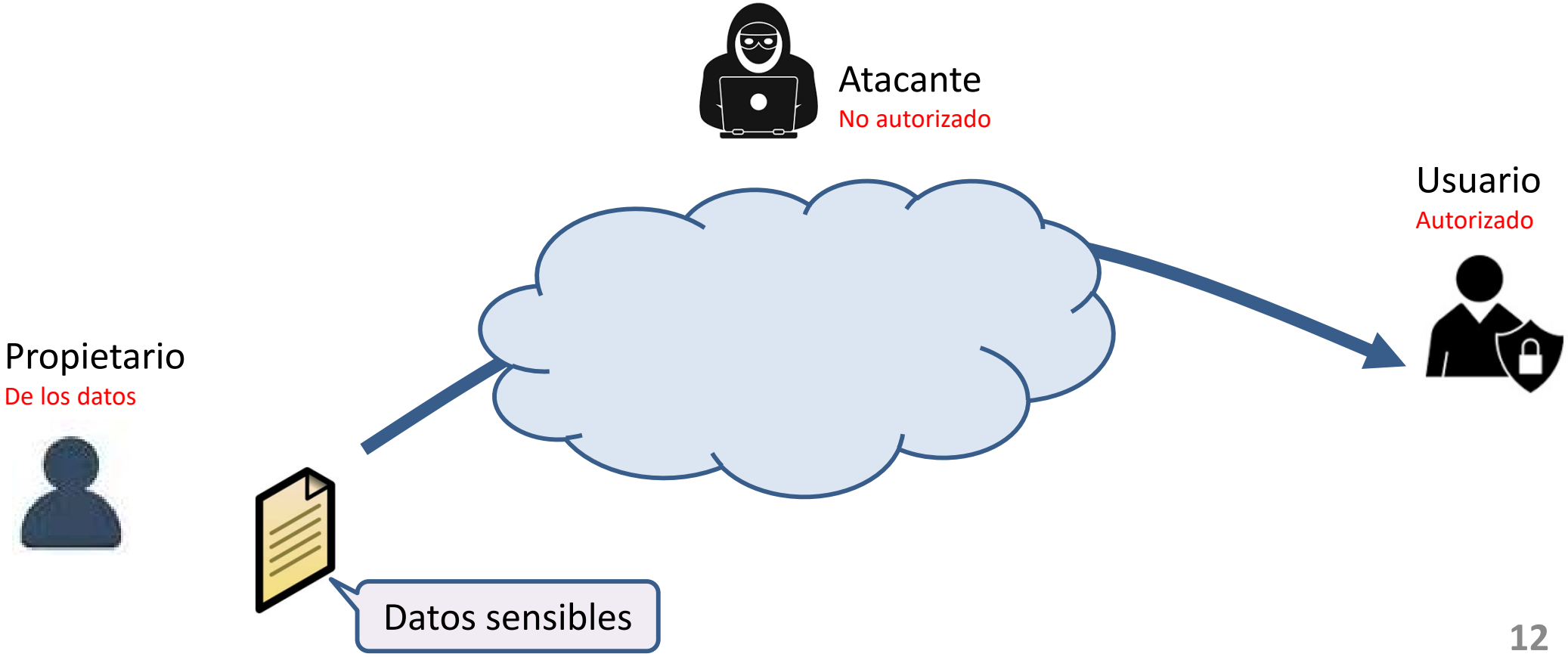


- FABRICACION
  - Una persona sin autorización inserta objetos falsos en el sistema.
  - Es un ataque contra la *Autenticidad*.
  - Ejemplos: Suplantación de identidades, robo de sesiones, robo de contraseñas, robo de direcciones IP, etc...
- Es muy difícil estar seguro de quién esta al otro lado de la línea.

Solución de seguridad de datos

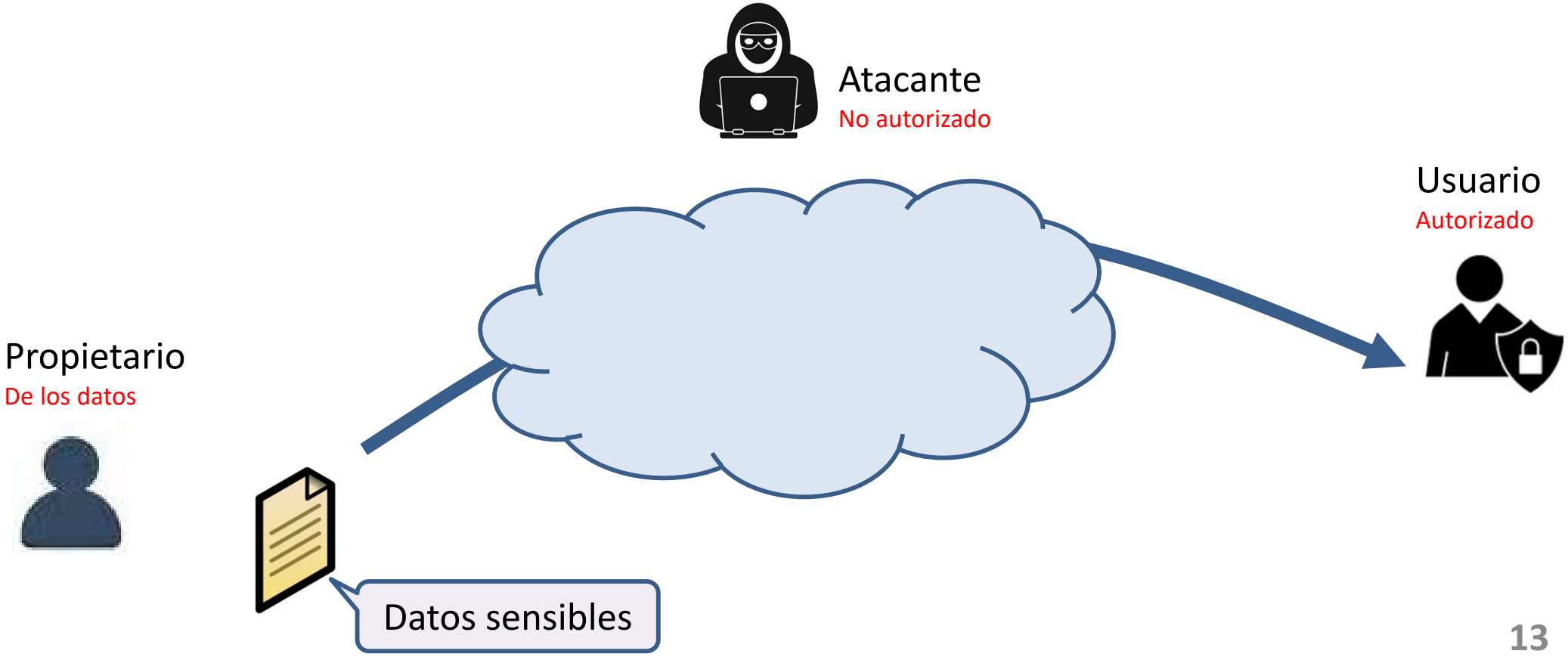
¿Cómo podemos garantizar CIA?

¿Cómo podemos prevenir ataques a CIA?



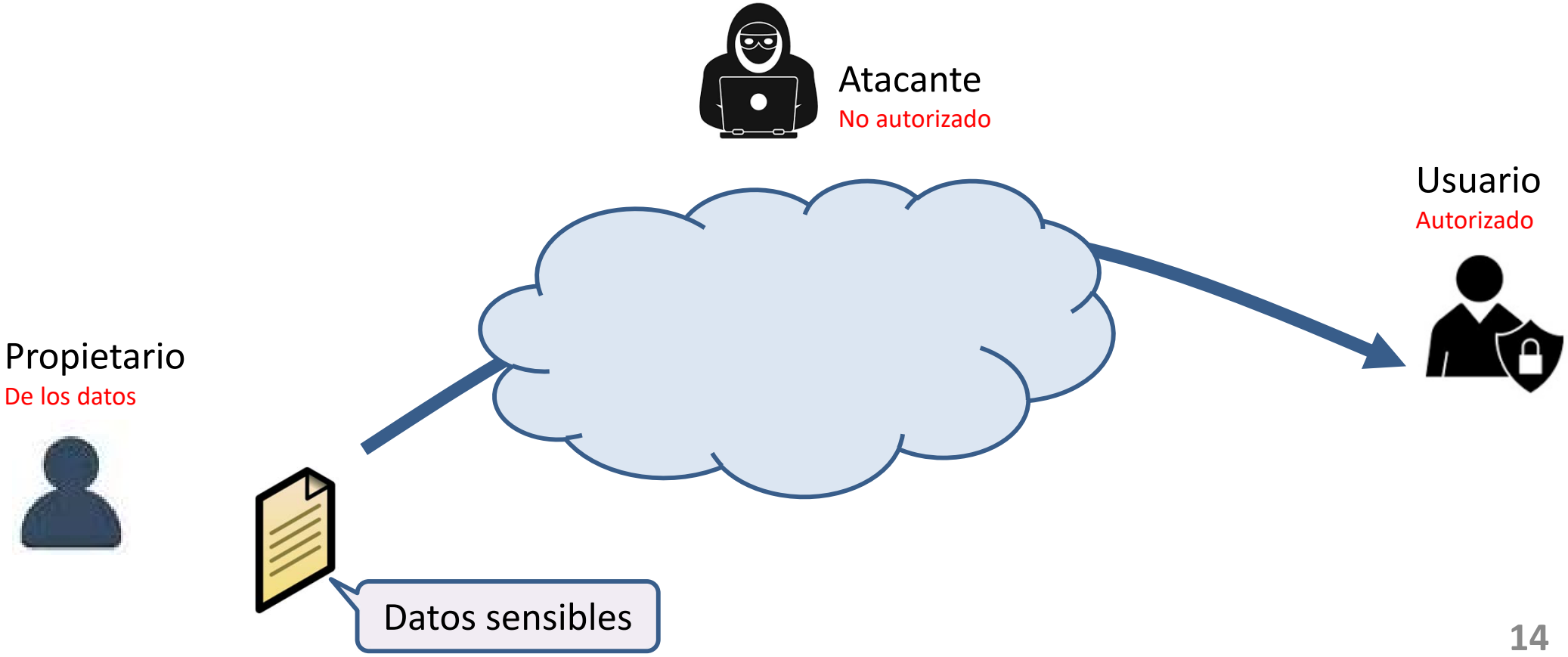
Solución de seguridad de datos

R = Criptografía



Criptosistemas

- Desde los más ***antiguos*** hasta los ***modernos*** y ***futuros***, todos basan su funcionamiento a partir de tres algoritmos: `gen_claves()`, `cifrar_datos()`, `descifrar_datos()`



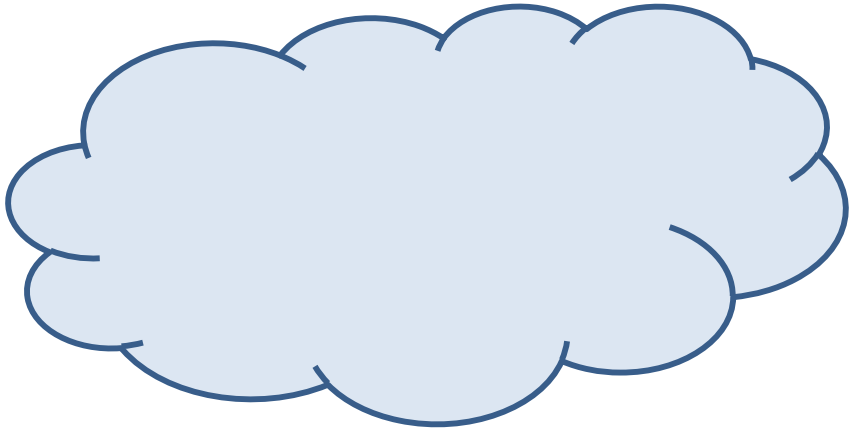
Criptosistemas

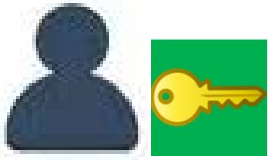
- Desde los más ***antiguos*** hasta los ***modernos*** y ***futuros***, todos basan su funcionamiento a partir de tres algoritmos: `gen_claves()`, `cifrar_datos()`, `descifrar_datos()`

Atacante

No autorizado

Clave para descifrar



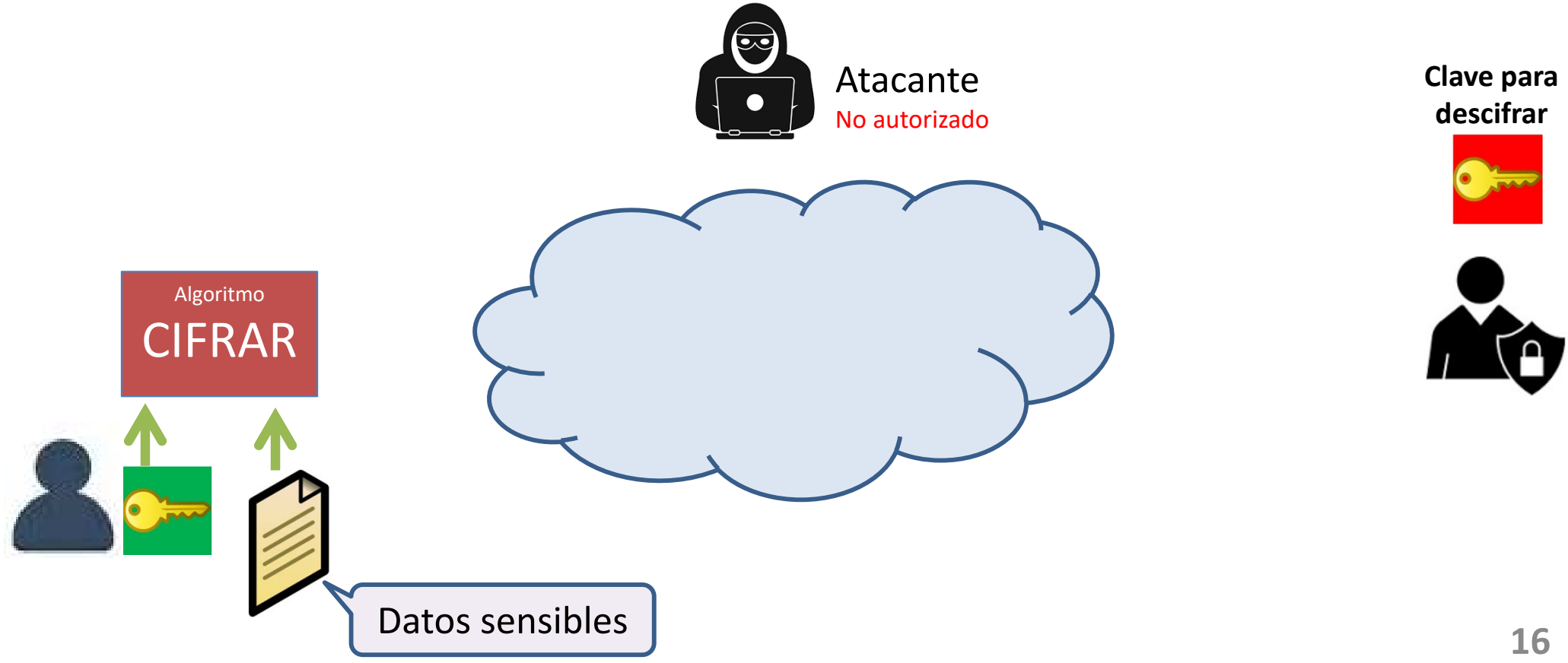


Clave para cifrar

Datos sensibles

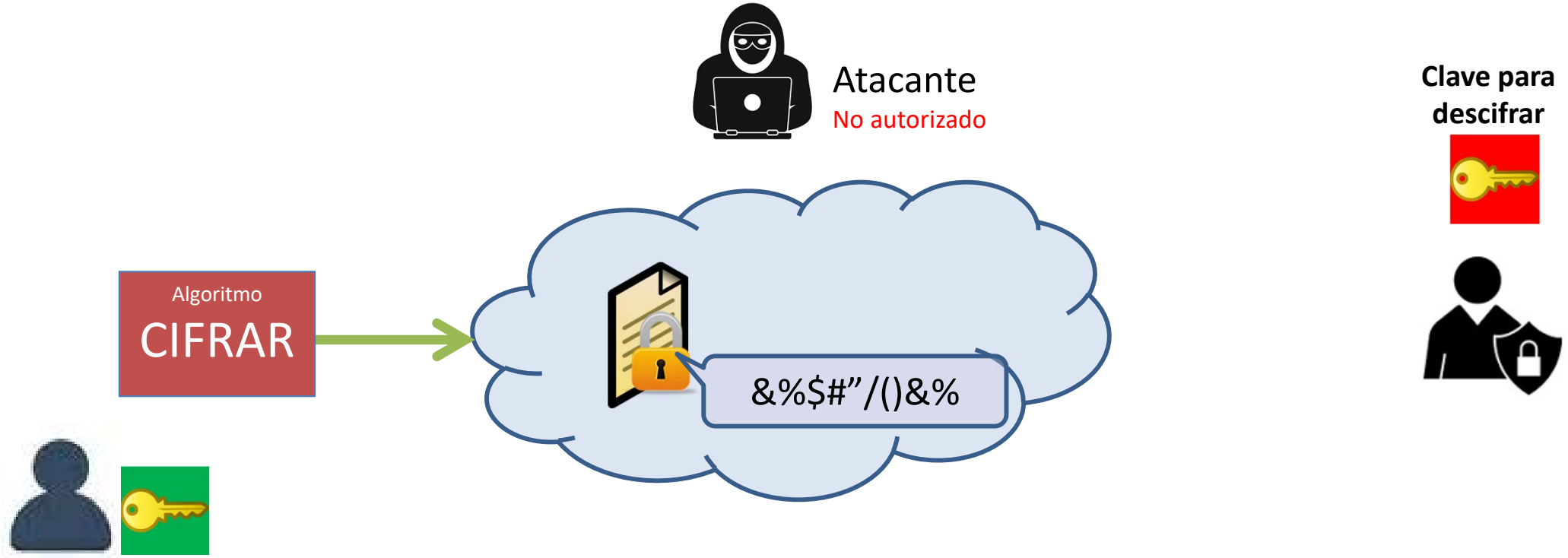
Criptosistemas

- Desde los más ***antiguos*** hasta los ***modernos*** y ***futuros***, todos basan su funcionamiento a partir de tres algoritmos: gen_claves(), **`cifrar_datos()`**, `descifrar_datos()`



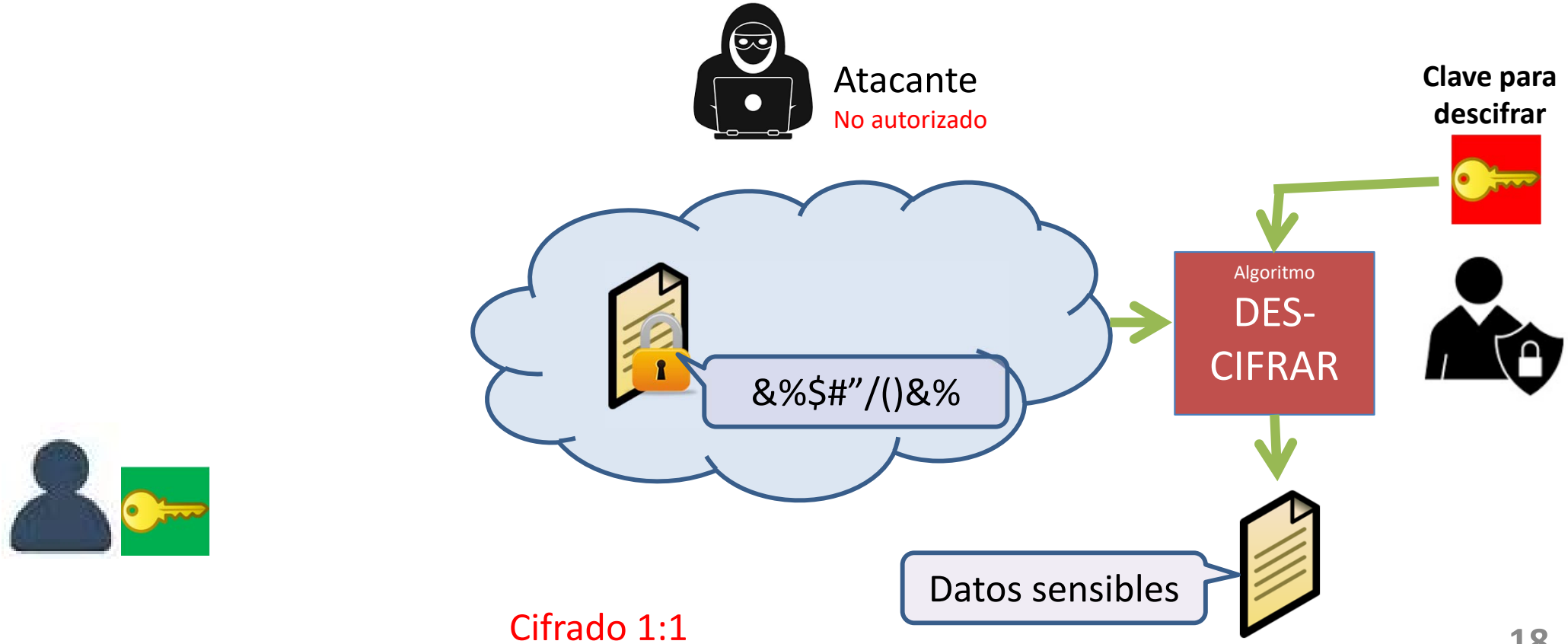
Criptosistemas

- Desde los más antiguos hasta los modernos y futuros, basan su funcionamiento a partir de tres algoritmos: `gen_claves()`, **`cifrar_datos()`**, `descifrar_datos()`



Criptosistemas

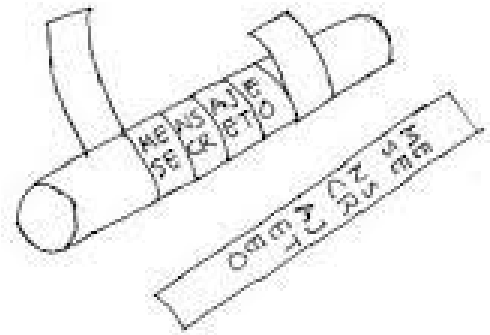
- Desde los más antiguos hasta los modernos y futuros, basan su funcionamiento a partir de tres algoritmos: `gen_claves()`, `cifrar_datos()`, `descifrar_datos()`



Cifrado 1:1

Criptografía e historia

- Criptografía – Arte de ocultar información
  - "*Cryptos*" → Ocultar
  - "*Graphe*" → Escritura
- Primeros cifradores desde antes de nuestra era (Grecia)
- Rol relevante en la historia - 2da Guerra mundial
  - Criptografía (Enigma) fue una de las principales armas del bloque alemán
  - Motivó la creación de máquinas de propósito específico para romper el cifrado alemán → bases de la computación actual y de la inteligencia artificial (Alan Turing)



Escitala

Criptografía moderna

- **Criptografía moderna** a partir de 1976
  - creación del primer estándar de cifrado *DES*
  - *Protocolo Diffie-Hellman* para establecimiento de secretos usados para ocultar la información digital

Criptografía moderna

- **Criptografía moderna** a partir de 1976
  - creación del primer estándar de cifrado *DES*
  - *Protocolo Diffie-Hellman* para establecimiento de secretos usados para ocultar la información digital

Criptografía en la actualidad

Criptografía en la actualidad

Criptografía en la actualidad

Criptografía en la actualidad

Criptografía en la actualidad

Criptografía en la actualidad

Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"*
  - **Valor** en colectar y usar datos

Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"*
  - **Valor** en colectar y usar datos

Hospitales inteligentes:

Reto 1: Big data

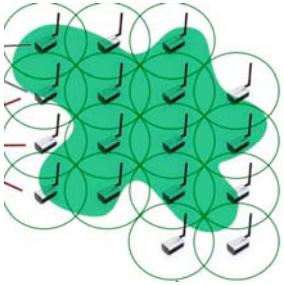
- *"Data-centric world"*
  - **Valor** en colectar y usar datos

Ciudades inteligentes

Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"*

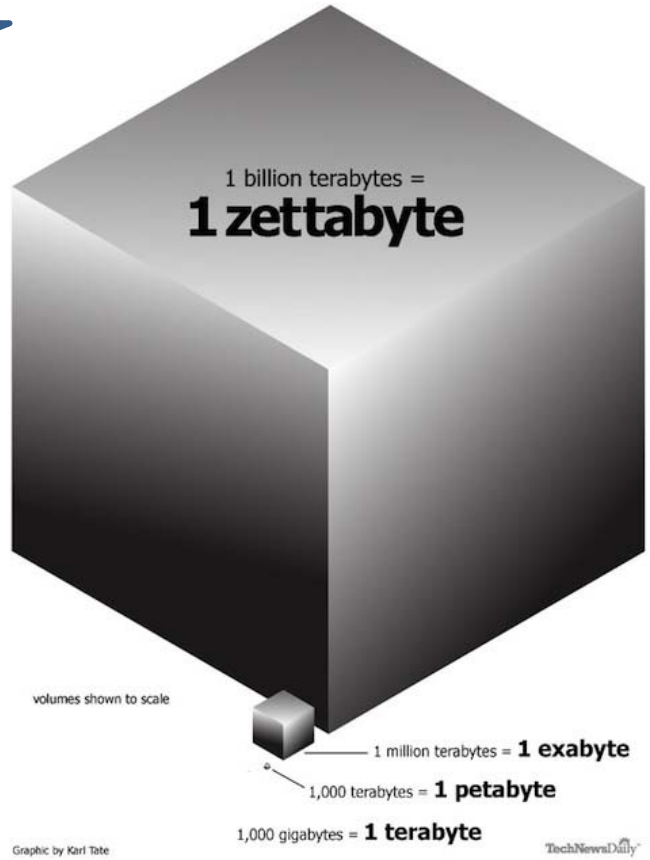
BigData



Enorme cantidad de datos producidos por varias fuentes, en múltiples formatos y a una gran velocidad.

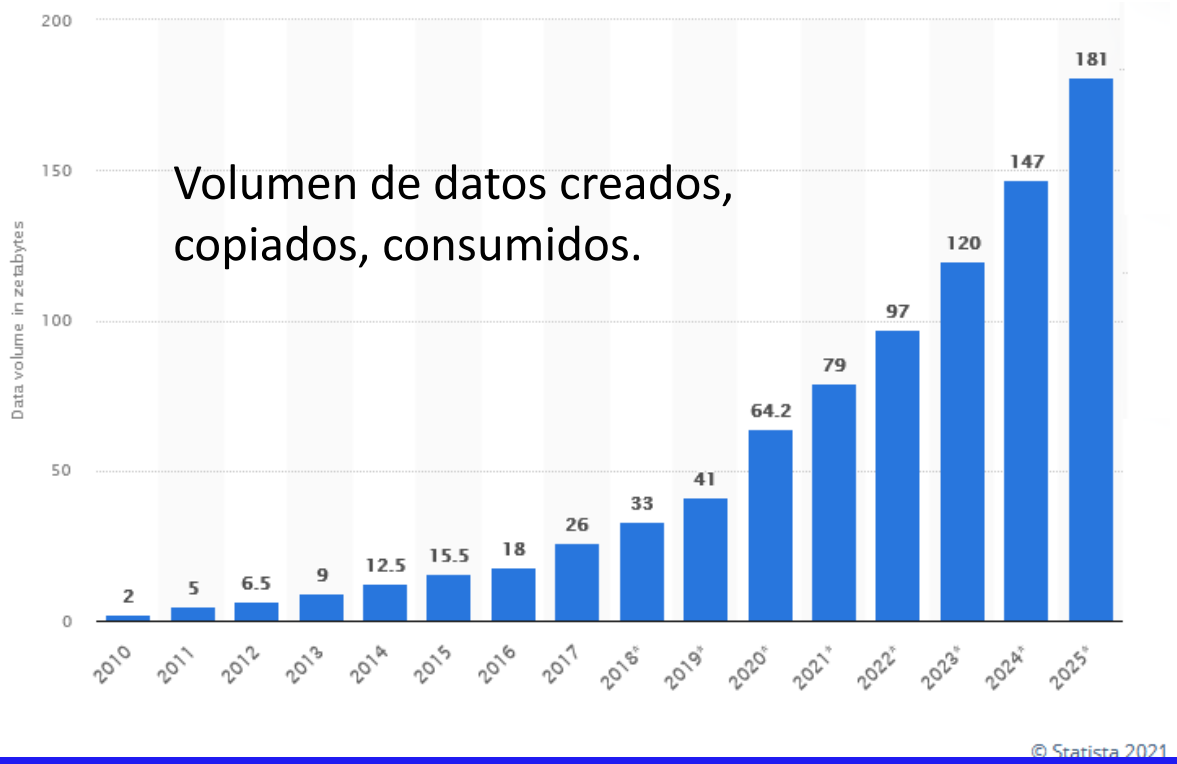
Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"* → BigData

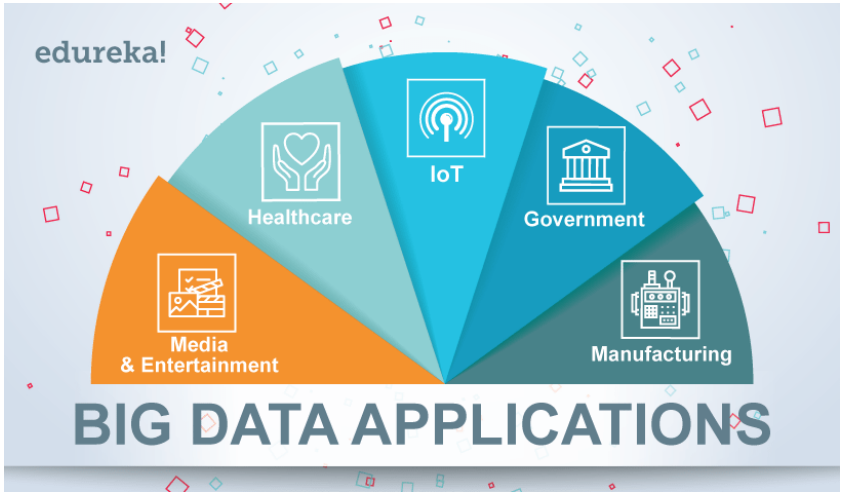


Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"* → BigData

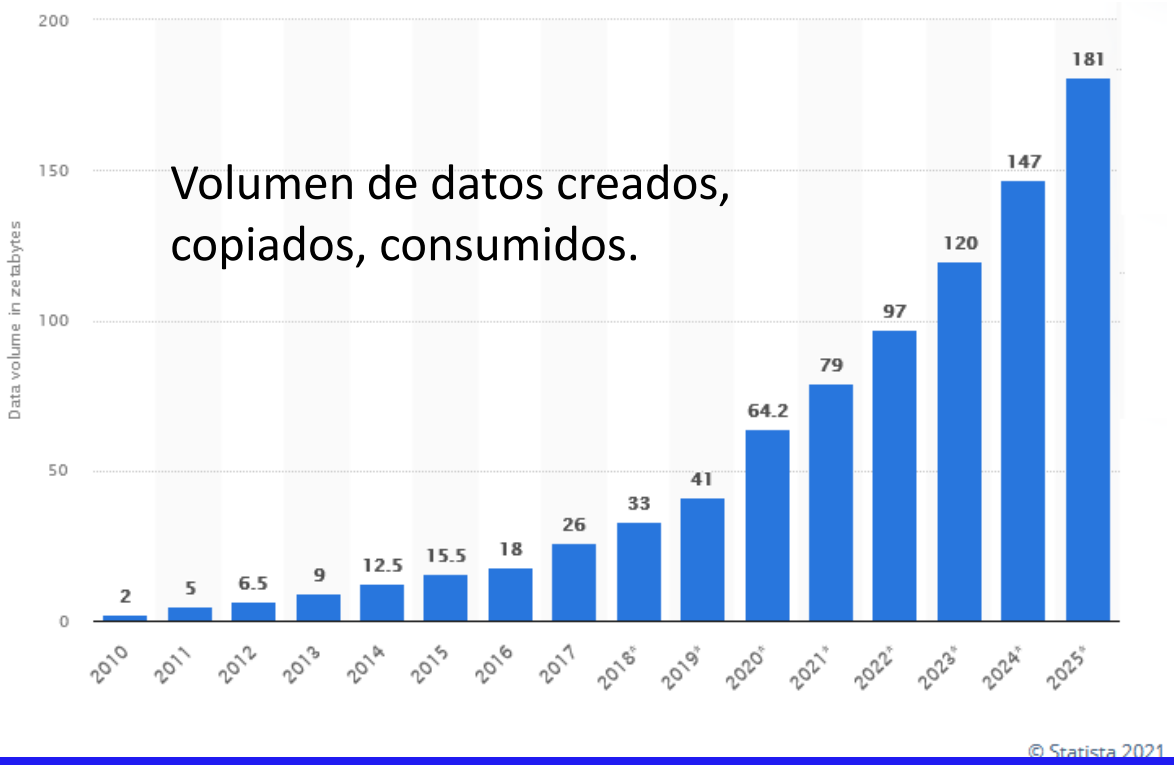


Volumen de datos creados, copiados, consumidos.

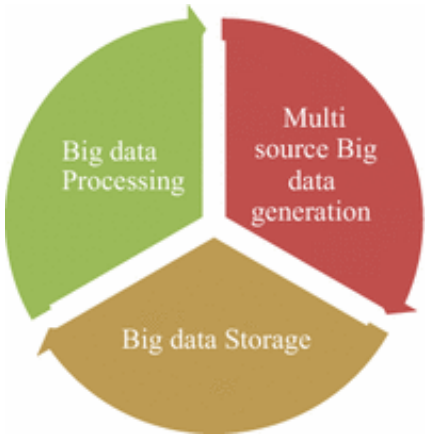


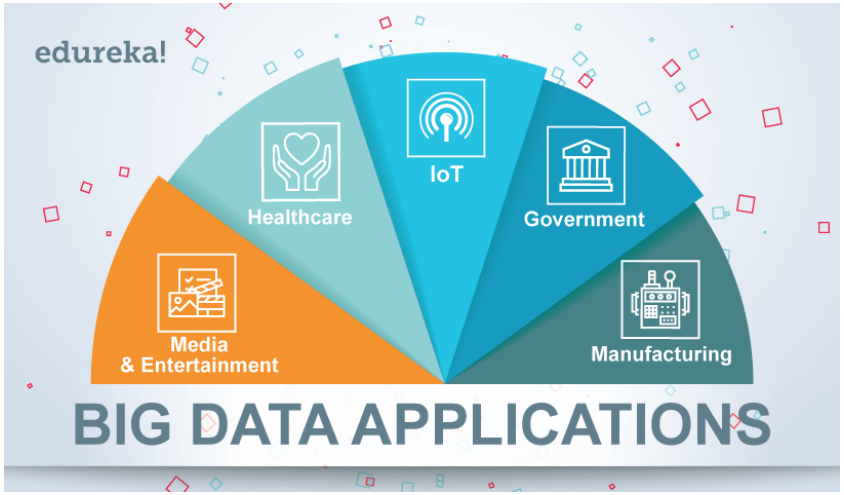
Reto 1: Big data

- *"Data-centric world"* → BigData



Volumen de datos creados, copiados, consumidos.

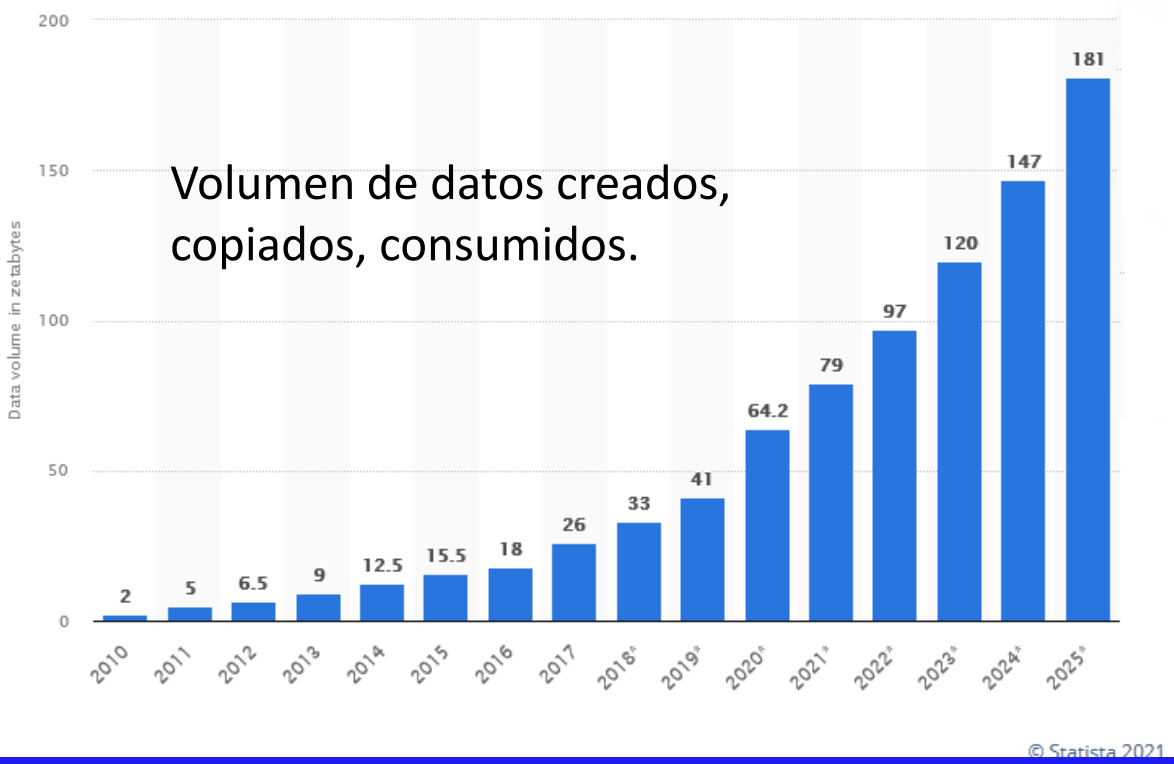




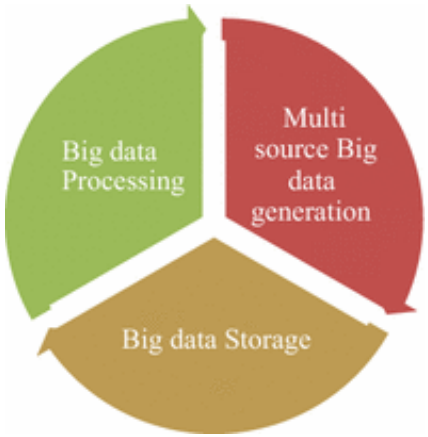
Reto 1: Big data

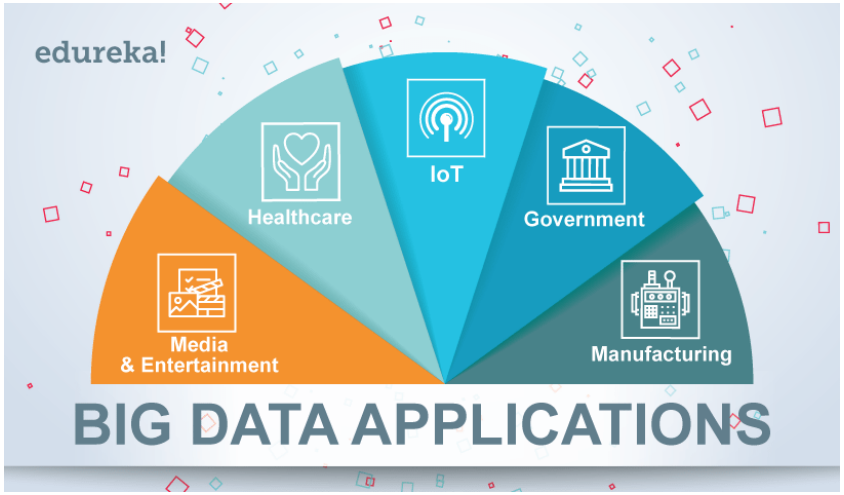
- *"Data-centric world"* → BigData

Seguridad y privacidad en Big Data



Volumen de datos creados, copiados, consumidos.

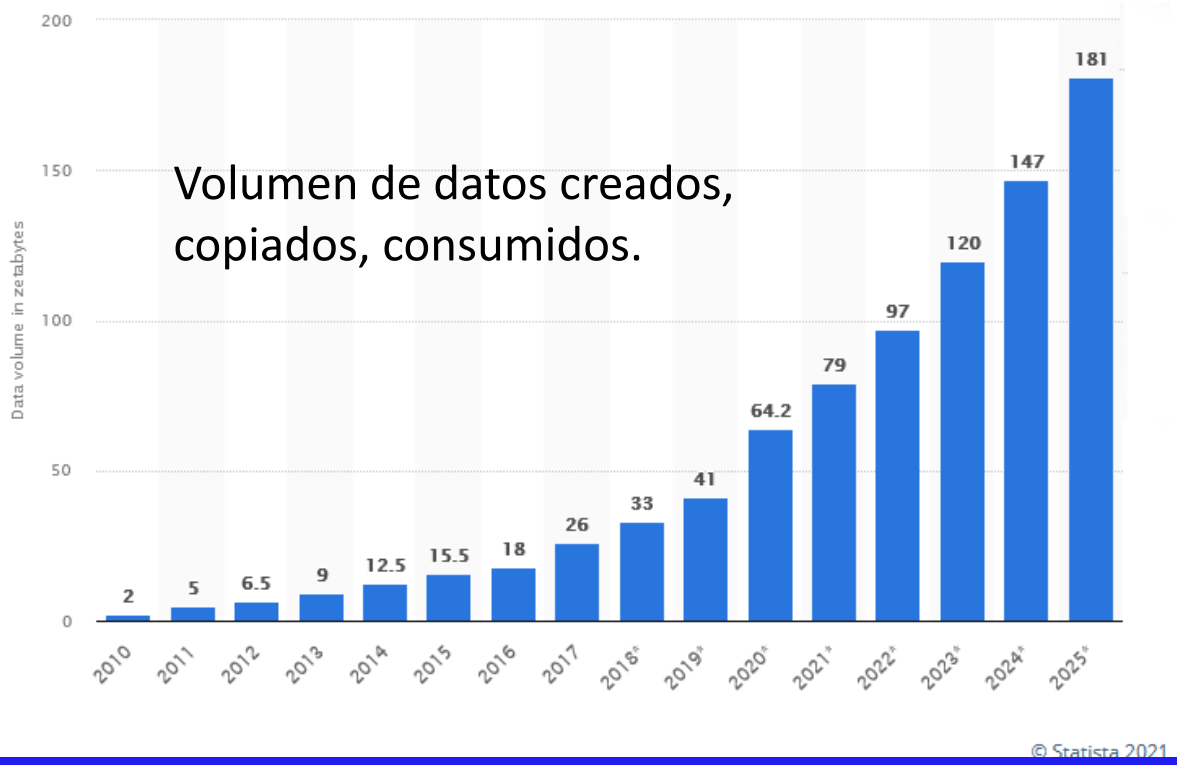




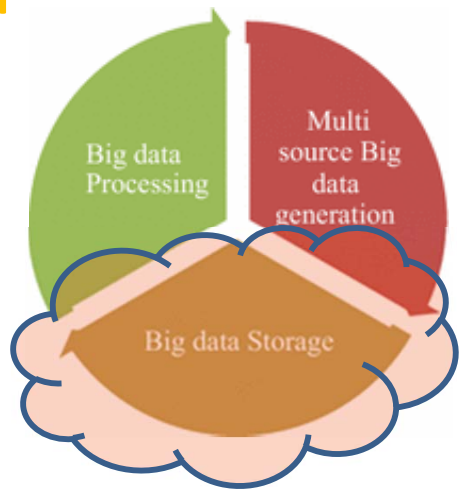
Reto 1: Big data

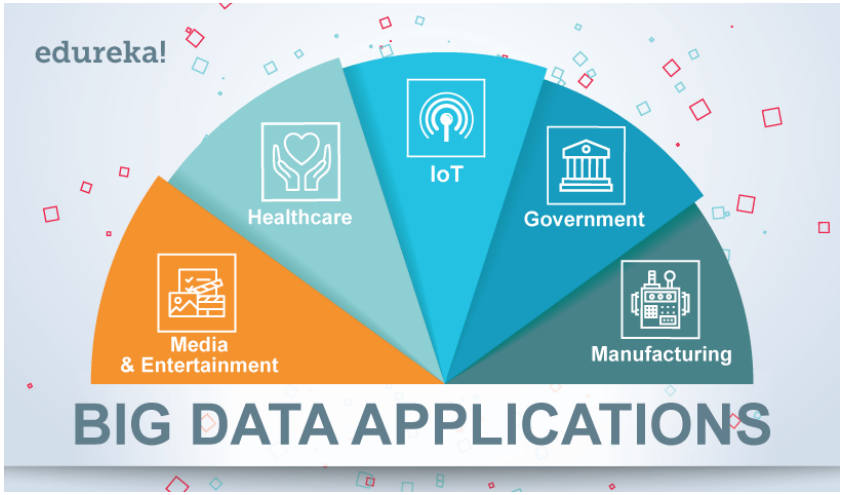
- *"Data-centric world"* → BigData

Seguridad y privacidad en Big Data



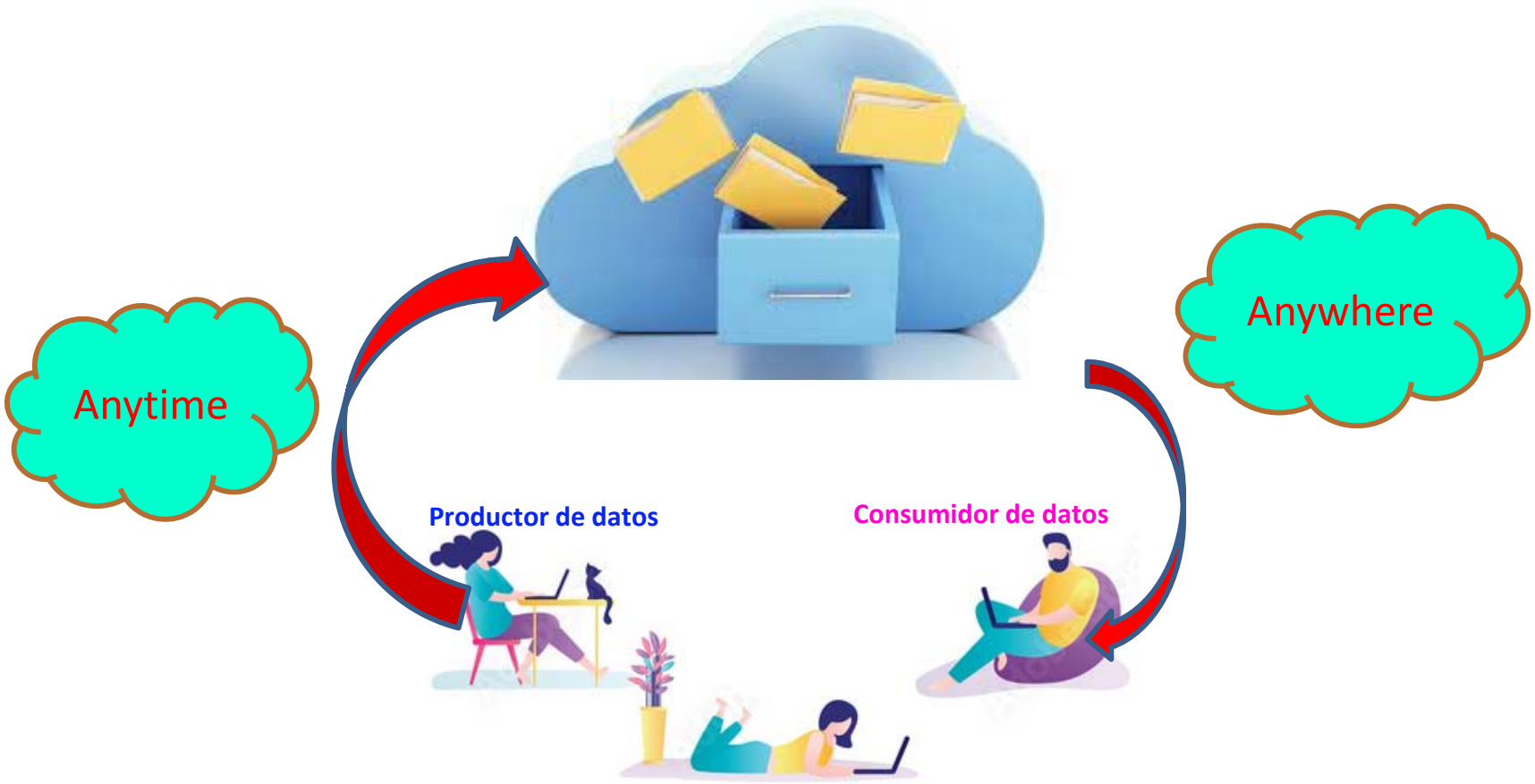
Volumen de datos creados, copiados, consumidos.





Datos en la nube

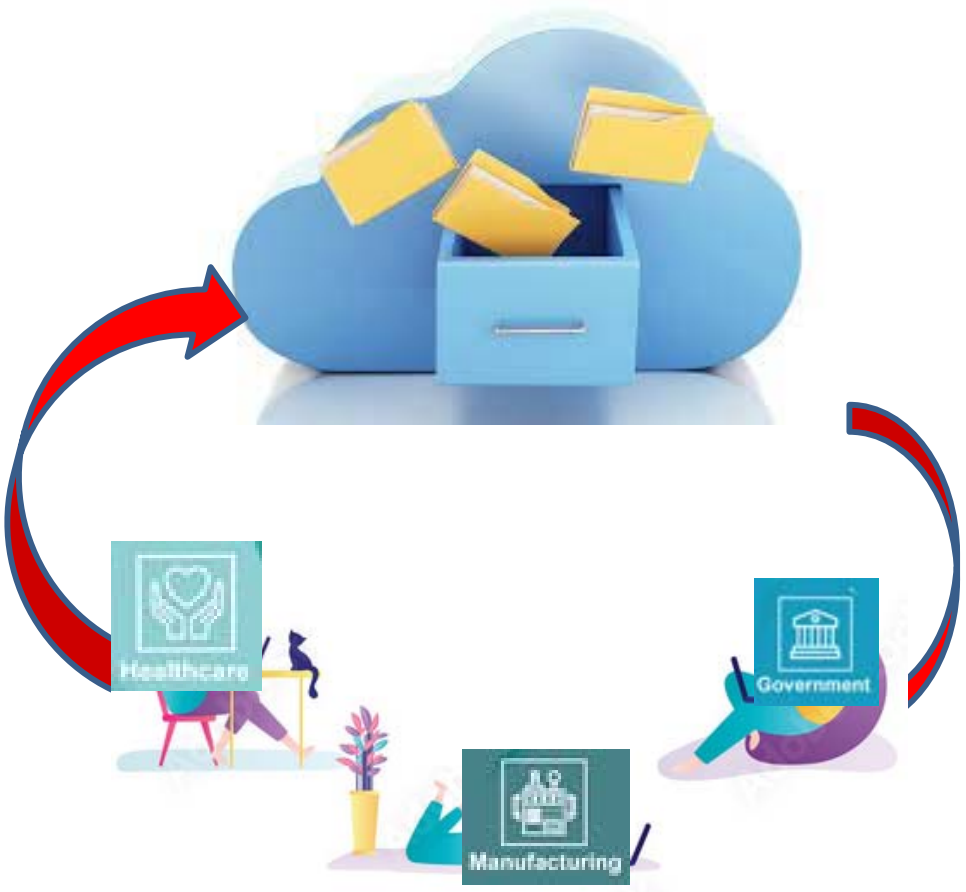
- *Almacenamiento* y *compartición* de datos **en la nube**



Datos sensibles en la nube

- *Almacenamiento* y *compartición* de **datos sensibles en la nube**

Ejemplos:
- Registros médicos
- Datos personales
- Datos biométricos
- Datos empresariales/ negocio
- Datos financieros



Seguridad de datos sensibles en la nube

- *Almacenamiento* y *compartición* de datos **sensibles en la nube**

Riesgos de seguridad:

- Confidencialidad
  - accesos no autorizados
- Control de acceso
  - Identificar a una entidad

Seguridad de datos sensibles en la nube

- *Almacenamiento* y *compartición* de datos **sensibles en la nube**

Servidor honesto pero curioso

Seguridad de datos sensibles en la nube: un enfoque criptográfico

Sobres digitales

Seguridad de datos sensibles en la nube: un enfoque criptográfico

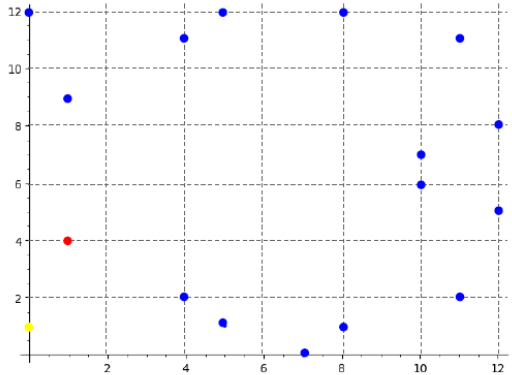
- Cifrado basado en atributos (ABE)
  - Cifrado asimétrico, "nuevo" (2005)
    - …vs cifrado convencional (1976)
  - Fundamentada en la teoría de **emparejamientos bilineales** sobre grupos (*estructuras algebraicas*)
    - Grupo multiplicativo (* mod *p*)
    - Grupo aditivo (**curvas elípticas**)
      - Definido sobre un campo finito F_p → *p* un número primo >= 2,500 bits
      - Curvas con propiedades especiales

Por ejemplo p2048: 612 dígitos

```
25195908475657893494027183240048398571429282126204032027
77713783604366202077595556264018525880784406918290641249
51508218929855914917618450280848912007284499268739280728
77767359714183472702618963750149718246911650776133798590
95700097330459748808428401797429100642458691817195118746
12151517265463228221686998754918242243363725908514186546
20435767984233871847744479207399342365848238242811981638
15010674810451660377306056201619676256133844143603833904
41495263443219011465754445417842402092461651572335077870
77498171257724679629263863563732899121548314381678998850
40445364023527381951378636564391212010397122822120720357
```

Seguridad de datos sensibles en la nube: un enfoque criptográfico

- Cifrado basado en atributos (ABE)
  - Cifrado asimétrico, "nuevo" (2005)
    - …vs cifrado convencional (1976)
  - Fundamentada en la teoría de **emparejamientos bilineales** sobre grupos (*estructuras* algebraicas)
    - Grupo multiplicativo (* mod *p*)
    - Grupo aditivo (**curvas elípticas**)
      - Definido sobre un campo finito F_p
      - Curvas con propiedades especiales



$y^2 = x^3 + x + 1 \quad (\text{mód } 13).$

p un número primo >= 224 bits

Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

- Cifrado basado en atributos (ABE)
  - Cifrado **1: M**
    - Cifra para un grupo de potenciales usuarios
    - … vs criptografía convencional: con cifrado 1:1

      Para M usuarios se requieren

      M cifrados y M llaves por administrar.

Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

- Cifrado basado en atributos (ABE)
  - Tecnología relativamente nueva (2005)
    - Cifrado 1: M
      - Cada usuario es identificado por un *conjunto de atributos* (mapeados a *estructuras algebraicas*)

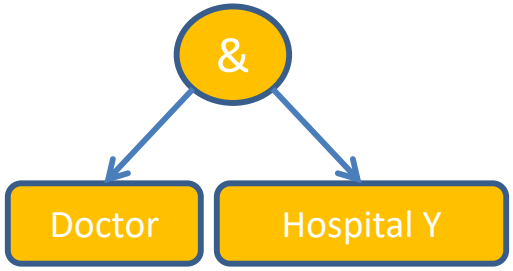
$$SK_u \leftarrow KeyGen(\mathbf{attrs})$$

{Doctor, Hospital Y}

{Nurse, Hospital Z}

Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Política = "doctor" & "Hospital Y"



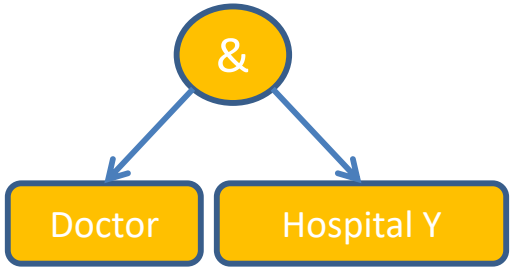
$$SK_u \leftarrow KeyGen(\mathbf{attrs})$$

{Doctor, Hospital Y}

{Nurse, Hospital Z}

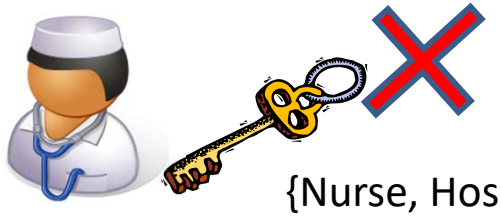
Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Política = "doctor" & "Hospital Y"



$$SK_u \leftarrow KeyGen(\mathbf{attrs})$$

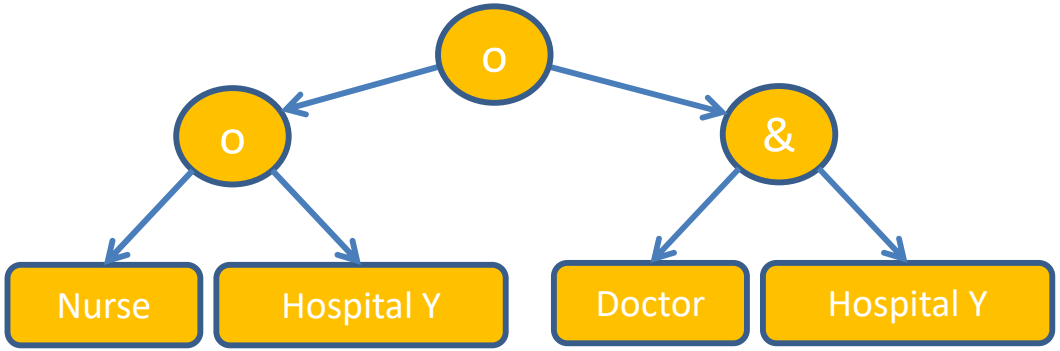
{Doctor, Hospital Y}



{Nurse, Hospital Z}

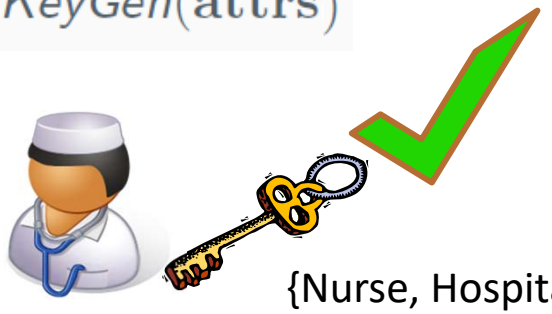
Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Política = ("doctor" & "Hospital Y") or ("nurse" or "Hospital Y")



$SK_u \leftarrow KeyGen(\mathbf{attrs})$

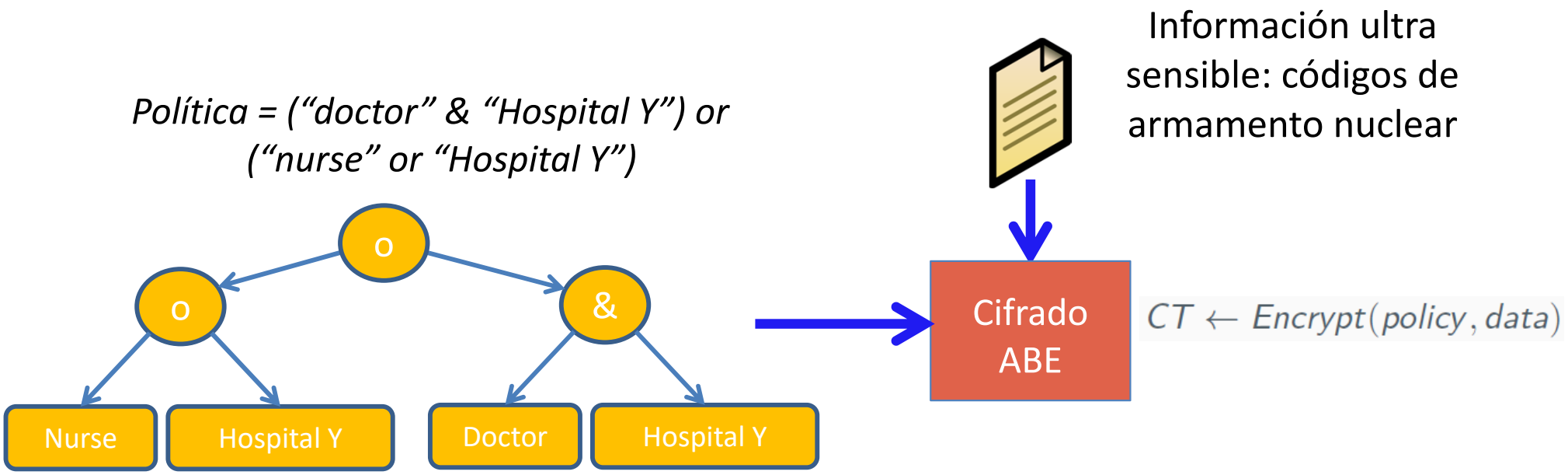
{Doctor, Hospital Y}



{Nurse, Hospital Z}

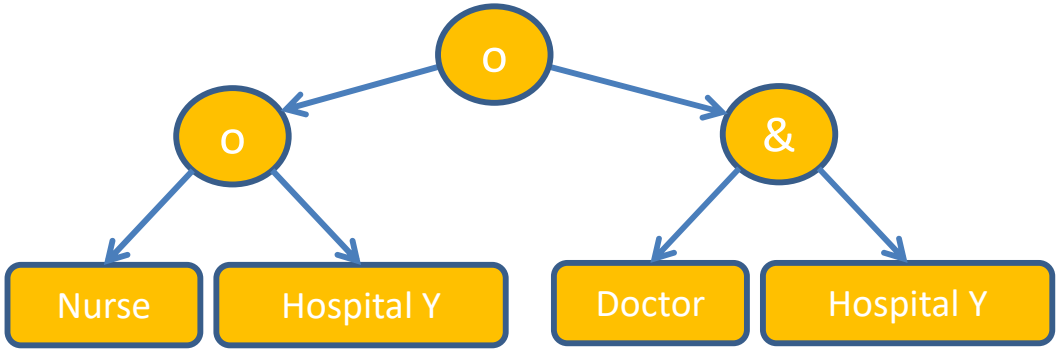
{Hospital Y}

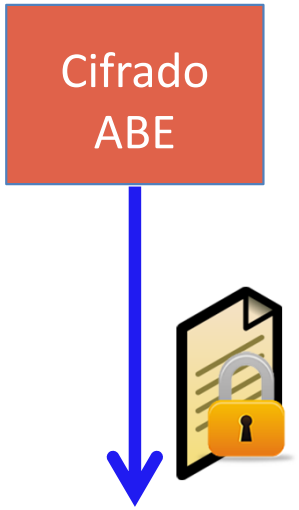
Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico



Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Política = ("doctor" & "Hospital Y") or ("nurse" or "Hospital Y")



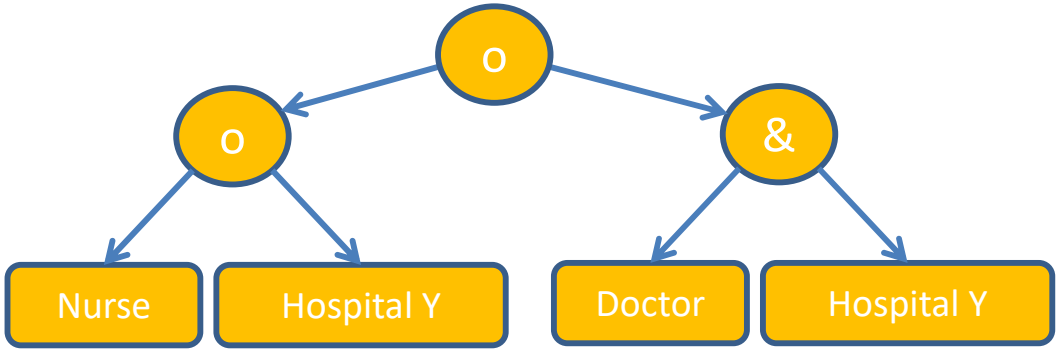


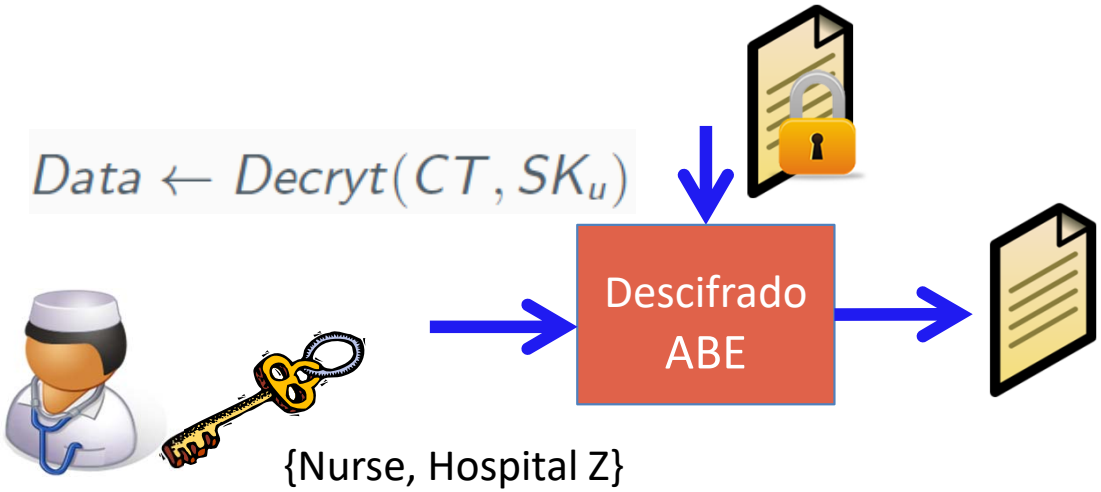
Datos no mayores al tamaño de $p \approx 2500$ bits
≈ 0.0001 Mb/seg

&%$#"/()&&%%$#")
=?*¡?)(/&%$#"#%"&
()/%$#"!=)(&/(#=&%

Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Política = ("doctor" & "Hospital Y") or ("nurse" or "Hospital Y")





Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Control de acceso y confidencialidad: un enfoque criptográfico

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

El concepto de sobre digital existía en el contexto de cifrado convencional, pero no en el contexto de ABE

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

- Datos cifrados con control de acceso embebido

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

Regular Contribution

A pairing-based cryptographic approach for data security in the cloud

Miguel Morales-Sandoval, Jose Luis Gonzalez-Compean, Arturo Diaz-Perez & Victor J. Sosa-Sosa

International Journal of Information Security **17**, 441–461 (2018) | Cite this article

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.DOI

A Three-Tier Approach for Lightweight Data Security of Body Area Networks in e-Health Applications

MIGUEL MORALES-SANDOVAL[1], RICARDO DE-LA-PARRA-AGUIRRE[1], HIRAM GALEANA-ZAPIEN[1], (MEMBER, IEEE) AND ALEJANDRO GALAVIZ-MOSQUEDA[2].

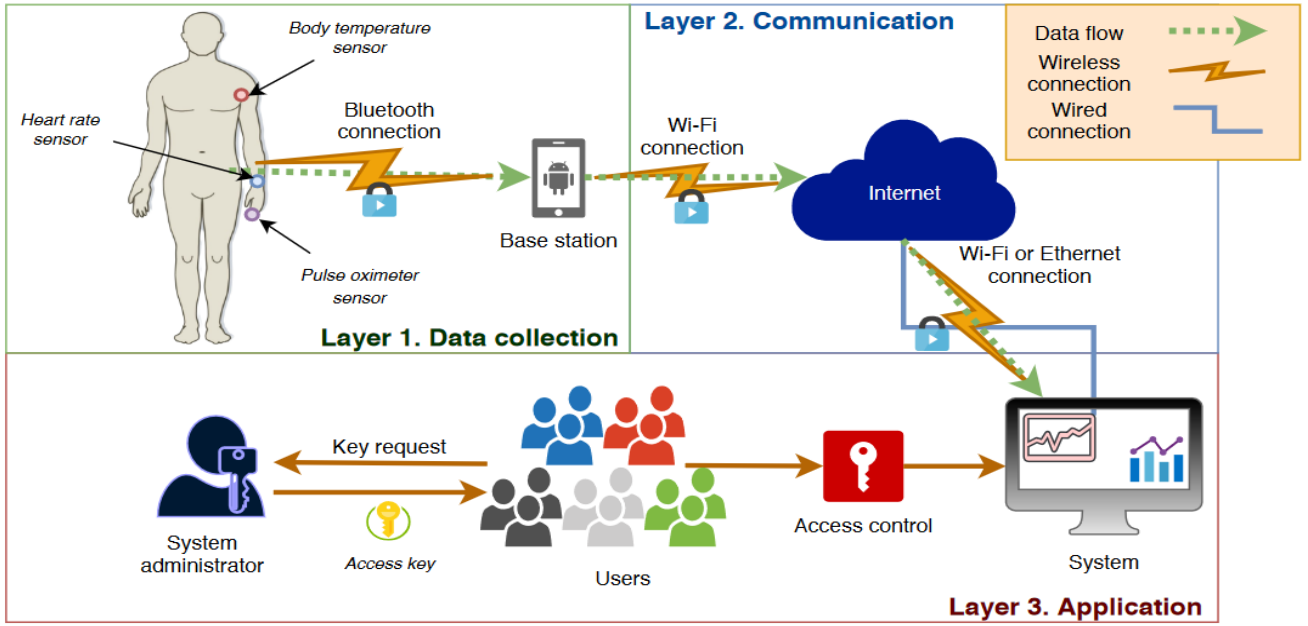


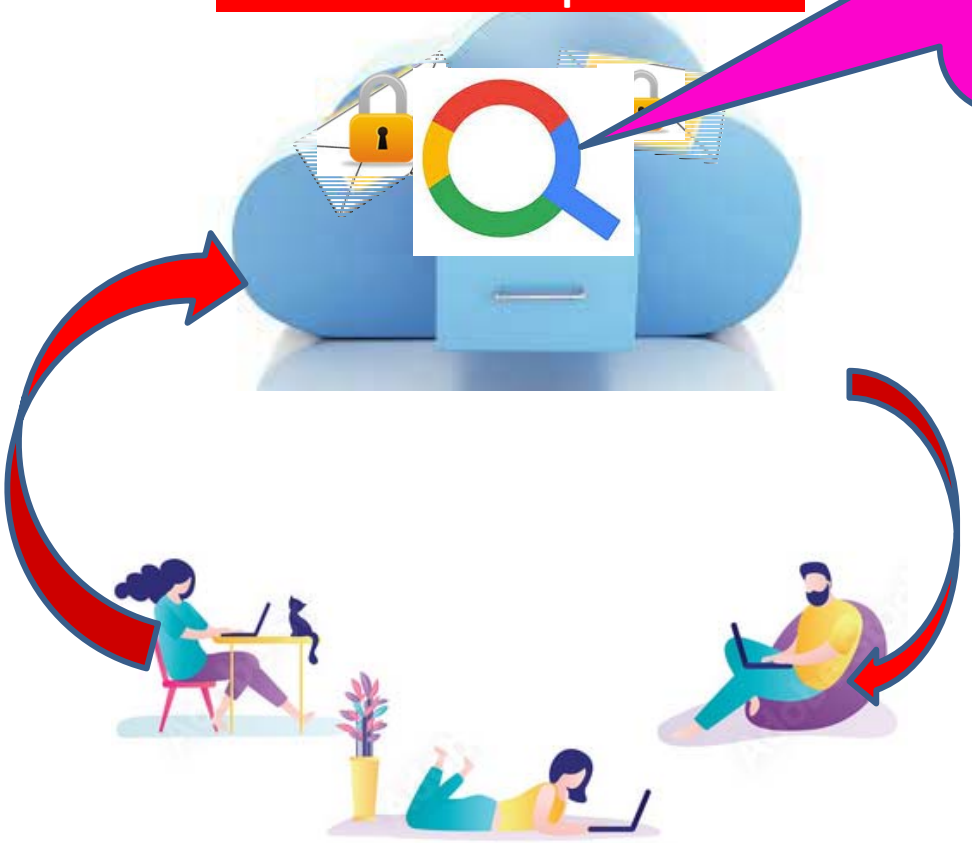
FIGURE 5: WBAN deployment based on the 3-layer model.

Sobres digitales: confidencialidad y control de acceso.

Sobres digitales buscables: confidencialidad, control de acceso y recuperación de datos.

¿Cómo buscar si los datos no son legibles?

R: Searchable encryption



aún si están cifrados

Sobres digitales buscables (con capacidades de búsqueda)

Received August 3, 2020, accepted September 2, 2020, date of publication September 16, 2020,
date of current version September 25, 2020.

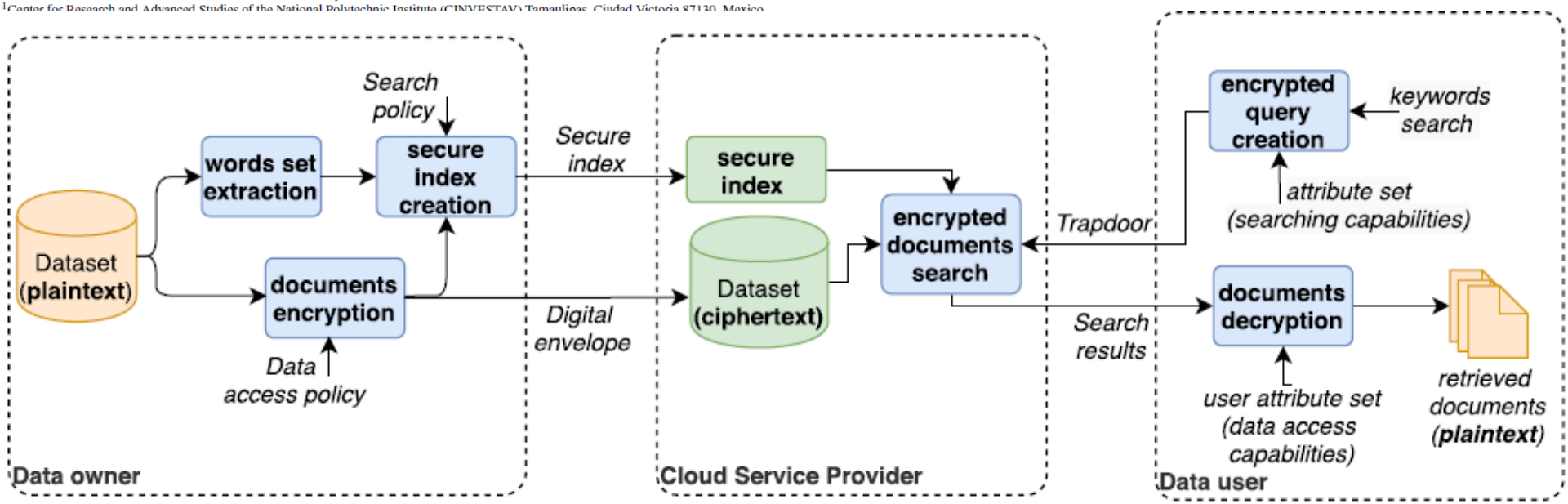
Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3023893

Attribute-Based Encryption Approach for Storage, Sharing and Retrieval of Encrypted Data in the Cloud

MIGUEL MORALES-SANDOVAL[1], MELISSA HINOJOSA CABELLO[1],
HEIDY MARISOL MARIN-CASTRO[2], AND JOSE LUIS GONZALEZ COMPEAN[1]

[1]Center for Research and Advanced Studies of the National Polytechnic Institute (CINVESTAV) Tamaulipas, Ciudad Victoria 87130, Mexico

El proveedor del servicio no aprende nada de la consulta ni de los resultados



Sobres digitales con capacidades de búsqueda

TABLE 4. Main components of FABECS construction (Type-III pairing).

	CP-ABSE Type-III	DET-ABE Type-III
$\mathbb{A}$	Matrix, with Linear secret sharing scheme and FBF access policy	
P_λ	$\{\mathbb{G}_1, \mathbb{G}_2, \mathbb{G}_T, g_1, g_2, r\}, H_1 : \{0,1\}^* \to \mathbb{G}_1, H_2 : \{0,1\}^* \to \mathbb{Z}_r$	
PK_λ	$\{h = g_1^\beta, e(g_1, g_2)^\alpha\}, \{\alpha, \beta\} \in \mathbb{Z}_r^*$ (random)	
MK_λ	$\{g_1^\alpha\}$	
SK	$SK_u = \{D, D', [d_y]^+\}$, where $D = g_1^{(\alpha+\beta r)}$ $D' = g_2^r$ $\forall j \in S_u$: $d_j = H_1(y)^r, r \in \mathbb{Z}_r^*$ (random)	
CT	$CT_w = \{C', C, [C_{y_i}, C'_{y_i}]^+\}$, where w is a keyword and $C' = e(g_1^{H_2(w)s}, g_2) \times e(g_1, g_2)^{\alpha s}, s \in \mathbb{Z}_r^*$ (random)	$CT_k = \{C', C, [C_{y_i}, C'_{y_i}]^+\}$, where k is a symmetric key and $C' = k \times e(g_1, g_2)^{\alpha s}, s \in \mathbb{Z}_r^*$ (random)
	$C = g_2^s$ $\forall \rho(i)$, attribute y at row $\mathtt{Mat}_i$ $C_{y_i} = g_2^{r_i}$ $C'_{y_i} = h^{\lambda_i} \times H_1(\rho(i))^{-r_i}$ $r_i \in \mathbb{Z}_r^*$ (random) $\lambda_i = \mathbf{v} \times \mathtt{Mat}_i$ $\mathbf{v} = \{s, s_1, s_2, ..., s_{n-1}\}, s_j \in \mathbb{Z}_r^*$ (random)	
T_u	$T_u(w_q) = \{T, T', [t_y]^+\}$, given a query keyword w_q and SK_u, where $T = g_1^{H_2(w_q)} \times D$ $T' = D' \in SK_u$ $t_y = d_y \in SK_u$	Not required
Decrypt or Search	Search, given $CT_w = \{C', C, [C_{y_i}, C'_{y_i}]^+\}$ and $T_u(w_q) = \{T, T', [t_y]^+\}$ $C_w = \frac{e(T, C)}{C_T}$ $\prod_{C_T} ((e(C'_{y_i}, T')e(t_{yi}, C_{y_i}))^{\omega_i}) =$ if and only if $C_w \equiv C'$ then w matches w_q	Decrypt the symmetric key k, given $CT_k = \{C', C, [C_{y_i}, C'_{y_i}]^+\}$ and $SK_u = \{D, D', [d_y]^+\}$ $C_k = \frac{e(D, C)}{C_T}$ $\prod_{C_T} ((e(C'_{y_i}, D')e(d_{yi}, C_{yi}))^{\omega_i}) =$ $k_1 = \frac{C'}{C_k}$

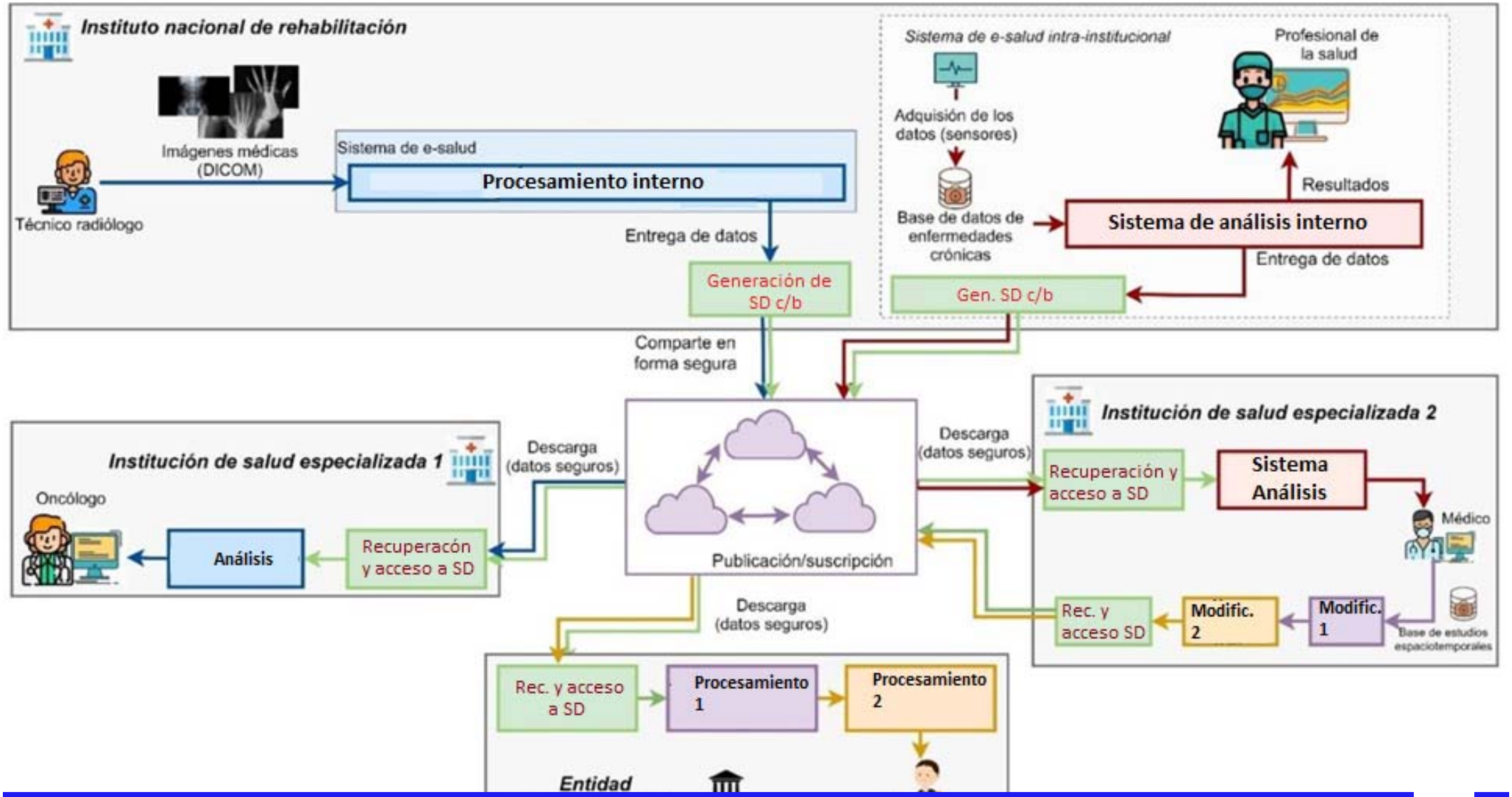
- Grupos aditivos definidos por una curva elíptica (sobre un campo finito de orden un número primo grande).
- Emparejamientos bilineales asimétricos
- Funciones hash
- Esquemas de repartición de secretos

Caso de aplicación

- FORDECyT Salud 2020 - Proyecto 41756
- Plataforma tecnológica para la gestión, aseguramiento, intercambio y preservación de grandes volúmenes de datos en salud y construcción de un repositorio nacional de servicios de análisis de datos de salud.

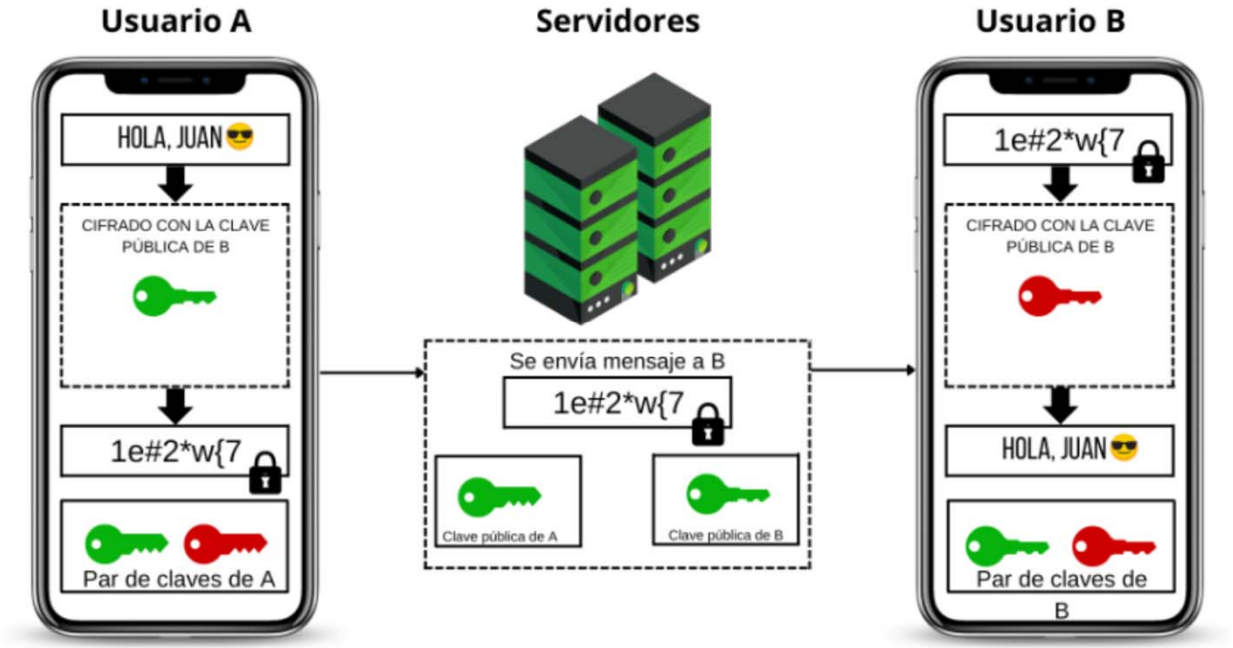
Caso de aplicación

FORDECyT Salud 2020 - Proyecto 41756



Reto 2: Cómputo cuántico

- En el cifrado asimétrico, parte fundamental en las comunicaciones seguras, cada entidad cuenta con un par de claves:

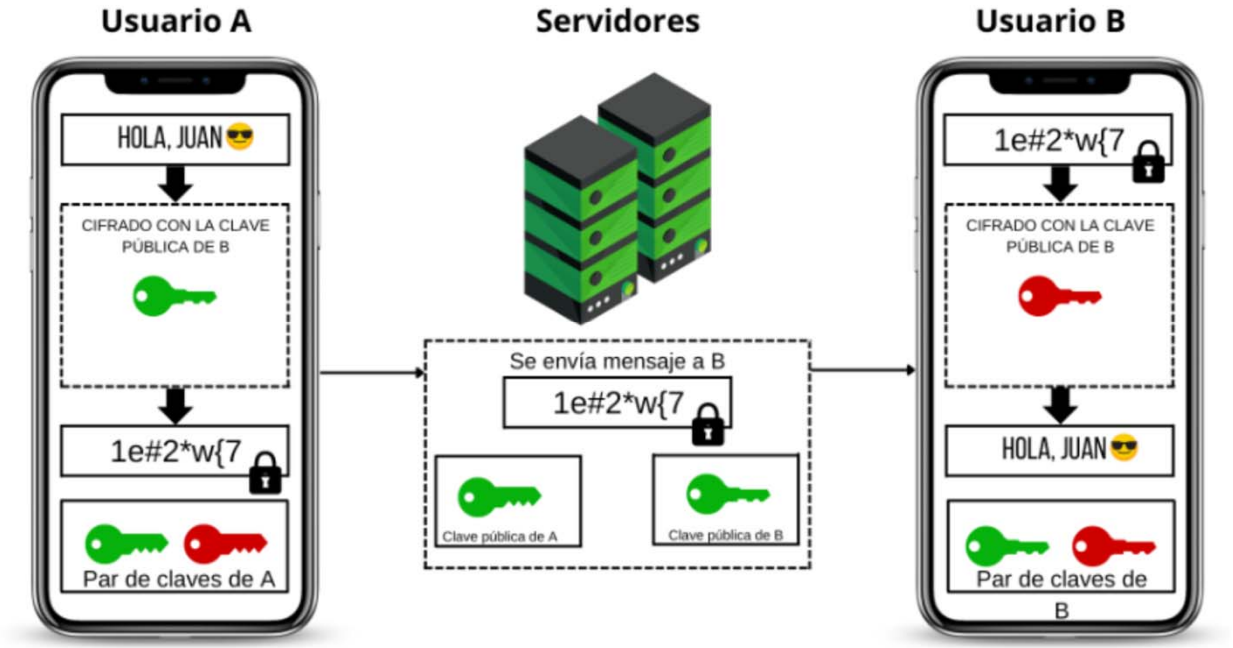


Cualquiera puede cifrar datos, con la llave pública del destinatario.

Solo el destinatario, con su llave privada, puede descifrar los mensajes.

Reto 2: Cómputo cuántico

- En el cifrado asimétrico, parte fundamental en las comunicaciones seguras, cada entidad cuenta con un par de claves:



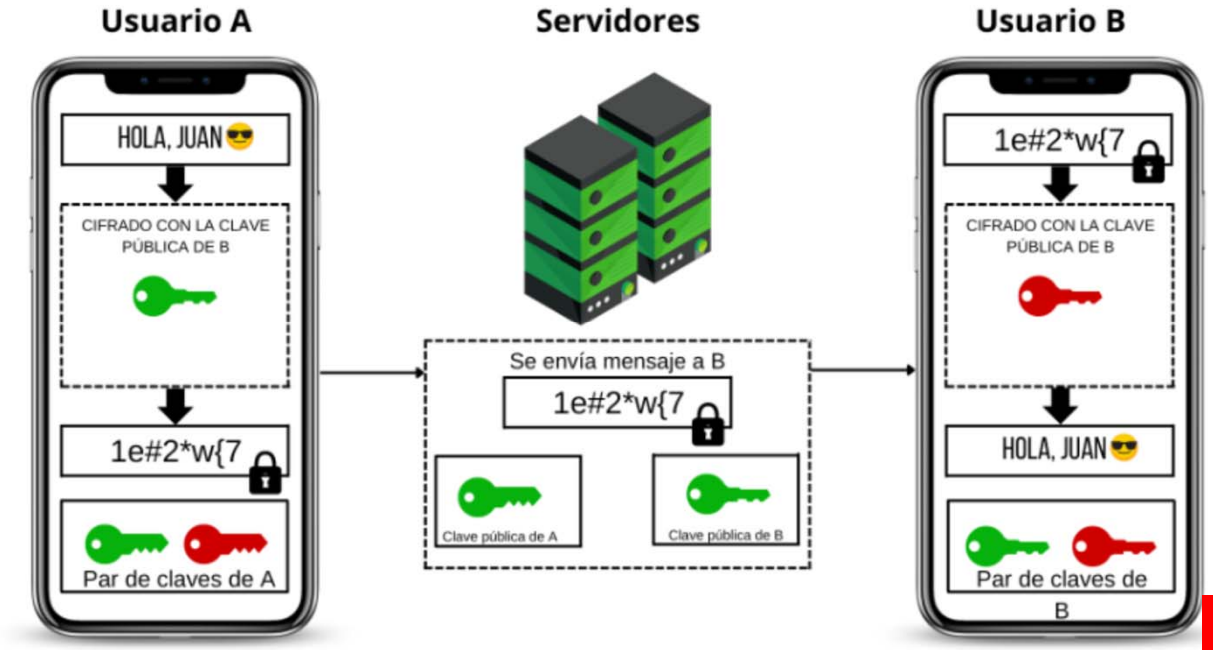
Cualquiera puede cifrar datos, con la llave pública del destinatario.

Solo el destinatario, con su llave privada, puede descifrar los mensajes.

Llave pública = f (llave privada)

Reto 2: Cómputo cuántico

- En el cifrado asimétrico, parte fundamental en las comunicaciones seguras, cada entidad cuenta con un par de claves:



Cualquiera puede cifrar datos, con la llave pública del destinatario.

Solo el destinatario, con su llave privada, puede descifrar los mensajes.

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

- En 1994, Peter Shor descubrió que, si alguna vez se inventaran las computadoras cuánticas, se contarían con algoritmos de complejidad polinomial que pudieran resolver problemas para los que ahora solo se cuentan con algoritmos no polinomiales.
  - Incluidos los algoritmos para calcular f^{-1}

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

- En 1994, Peter Shor descubrió que, si alguna vez se inventaran las computadoras cuánticas, se contarían con algoritmos de complejidad polinomial que pudieran resolver problemas para los que ahora solo se cuentan con algoritmos no polinomiales.
  - Incluidos los algoritmos para calcular f^{-1}
- Esa posibilidad ha hecho que se desarrolle una nueva LGAC
  - Criptografía post-cuántica
  - Algoritmos criptográficos que resistan a estos ataques, es decir, que sean "quantum safe"
  - Se estima que en 2030 se contará con una computadora cuántica con suficiente poder de cómputo para atacar a los actuales cifradores.

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

- El pasado mes de septiembre, se publicaron nuevos algoritmos recomendados para PQC (NIST)
  - Basado en una competencia, iniciada en 2016

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

- Los algoritmos criptográficos actuales que garantizan la CIA, y esquemas como los que se han usado para sobres digitales en la seguridad de Big data, deberán migrar a construcciones "quantum safe"
  - Antes de Y2Q (2030)
  - EEUU, China y Rusia, a la cabeza en la migración

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

INNOVATION

Why Companies Must Act Now To Prepare For Post-Quantum Cryptography

Forbes | Technology Council

Ted Shorter Forbes Councils Member

Forbes Technology Council COUNCIL POST | Membership (Fee-Based)

Feb 11, 2022, 07:45am EST

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

Reto 2: Cómputo cuántico

INNOVATION

Why Companies Must Act Now To Pr... Crypt...

Forbes Technology Council

NATIONAL

Transitioning organizations to post-quantum

CYBERSECURITY

Data security: post-quantum cryptography transition underway

...uaga, Olivier

Security experts are helping organizations to phase in solutions for protecting communications data in a post-quantum world.

7 October 2022

Llave pública = f (llave privada)

La seguridad del cifrado depende de la dificultad para calcualr f^{-1}

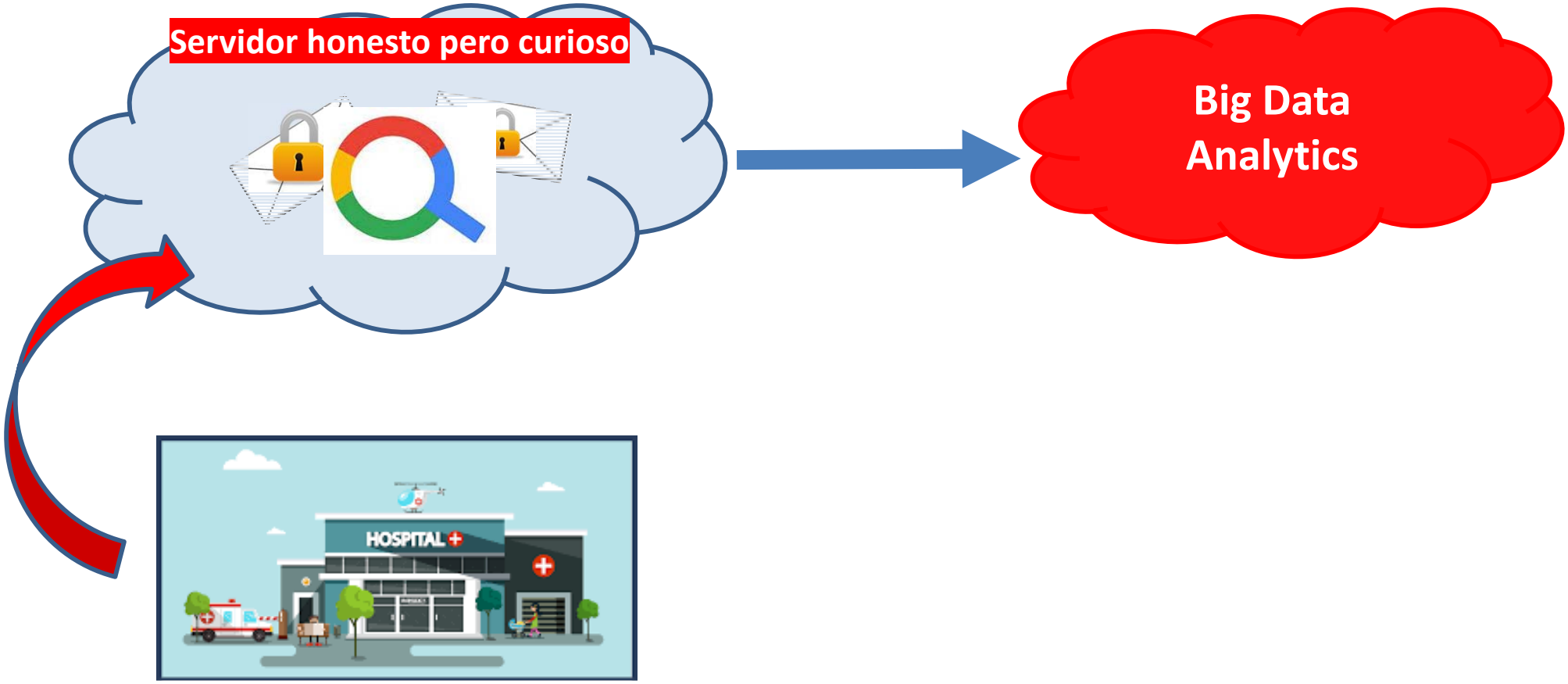
Líneas de trabajo actuales

- PQC en dispositivos con pocos recursos de cómputo
  - Basado en látices (retículas)
  - Para dispositivos con pocos recursos computacionales
    - En el Internet de las Cosas (nodos sensores)
      - Internet de las cosas médicas
      - Internet de las cosas industriales
  - Compartición de secretos
  - Firmas digitales

Líneas de trabajo actuales

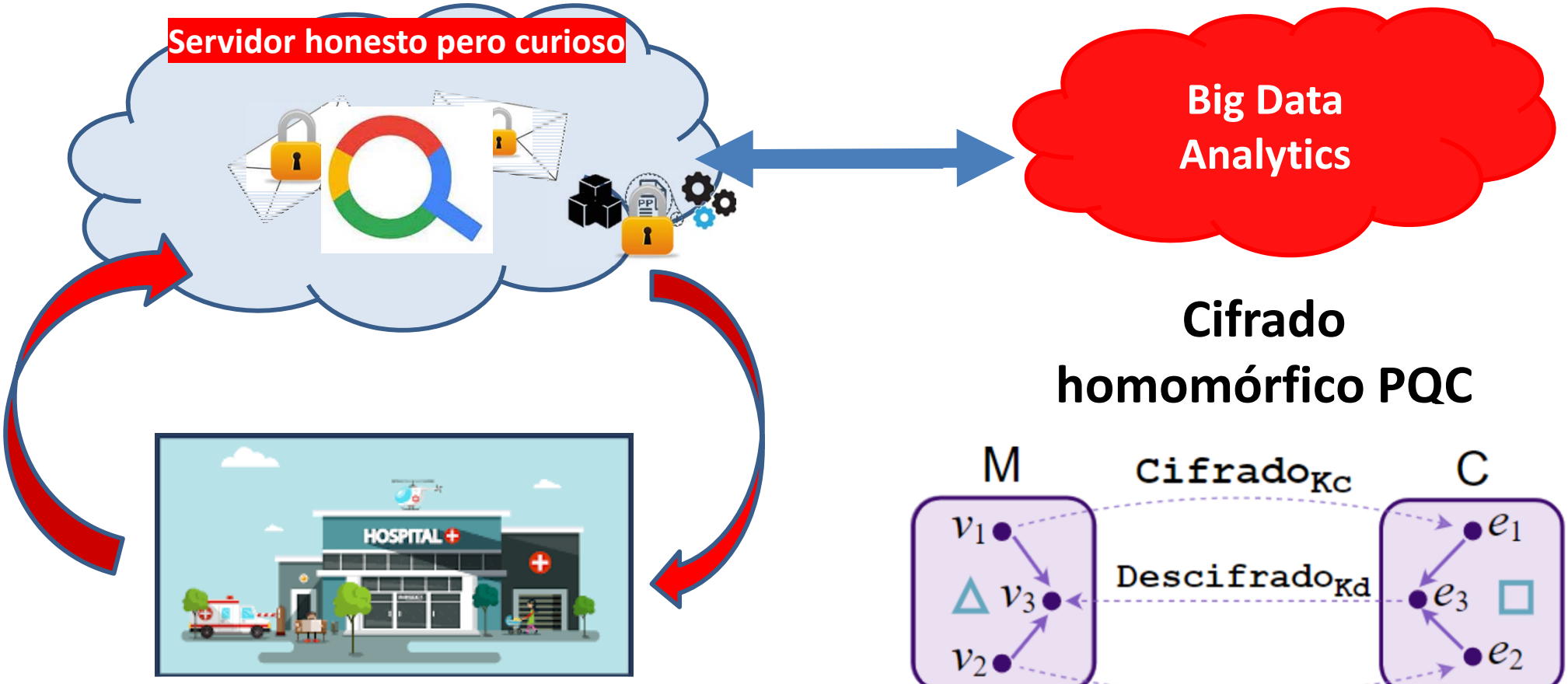
Líneas de trabajo actuales

Análisis preservando la privacidad de los datos (DMaaS)



Líneas de trabajo actuales

Análisis preservando la privacidad de los datos (DMaaS)



Cifrado homomórfico PQC

Comentarios finales

- El cifrado sigue siendo una tecnología vigente, que permite proveer servicios de seguridad en entornos donde los datos (manejo y procesamiento) son sensibles.
  - Incluso por regulaciones, los datos deben mantenerse privados.
- El cifrado convencional no es adecuado en datos en salud
  - Se requiere cifrado 1:M
- El cifrado, debe ser seguro y eficiente. De lo contrario, no es viable en un sistema de ciencia de datos.

Comentarios finales

- La seguridad de datos es la última línea de defensa
  - Si el atacante irrumpe en un sistema, los datos, si están cifrados, son inutilizables
- El Big data impone retos relacionadas con la eficiencia, la seguridad y el acceso a datos a gran escala, las soluciones tradicionales no son suficientes
  - Privacidad bajo el control del propietario de datos
- El cómputo cuántico permitirá resolver problemas de alto impacto, pero también atacar a la mayoría de los criptosistemas de clave pública
  - La transición a PQC es necesaria

¡Gracias!

Miguel Morales Sandoval
miguel.morales@cinvestav.mx