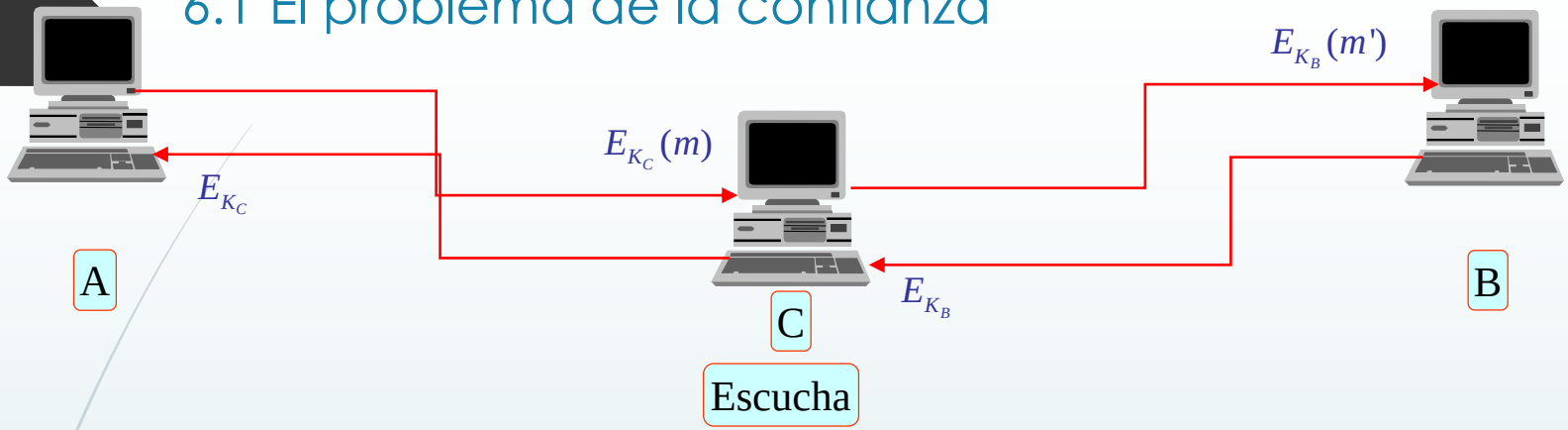
6.- Infraestructuras de clave pública

6.1 El problema de la confianza
6.2 Autoridad certificadora

6.1 El problema de la confianza



- El uso de la criptografía de clave pública no garantiza la seguridad de las comunicaciones, ya que estas se pueden atacar por un intermediario.
- El escucha se hace pasar por los usuarios A y B y facilita sus claves públicas (no las de A y B).
- De esta manera puede descifrar y alterar toda la información que se comuniquen A y B.
- Para evitar este tipo de ataque se hace uso de una tercera parte de confianza que certifica la identidad de cada usuario.

6.1 El problema de la confianza

- Para solucionar el problema de la **Autentificación** en las transacciones por Internet se buscó algún sistema **identificativo único** de una entidad o persona.

- Ya existían los sistemas criptográficos de clave asimétrica, mediante los cuales una persona disponía de dos claves, una pública, al alcance de todos, y otra privada, sólo conocida por el propietario.

- Cuando deseara enviar un mensaje confidencial a otra persona, bastaría con cifrarlo con la clave pública del destinatario, y así estaría seguro de que sólo el destinatario correcto podría obtener el mensaje en claro.

- Ahora bien, el **problema era estar seguro de que efectivamente la clave pública que nos envía el receptor corresponde a la persona correcta** y no a un suplantador.

6.1 El problema de la confianza

- La solución a este problema la trajo la aparición de los **Certificados Digitales** o Certificados Electrónicos, documentos electrónicos basados en la criptografía de clave pública y en el sistema de firmas digitales.

- La misión principal de un Certificado Digital es **garantizar con toda confianza el vínculo existente entre una persona, entidad o servidor con la clave que se hace pública** de la pareja de claves correspondientes a un sistema criptográfico asimétrico.

6.2 Autoridad certificadora

CONCEPTO DE CERTIFICADO DIGITAL

- Un certificado digital **es un documento electrónico que contiene datos identificativos de una persona o entidad** (empresa, servidor web, etc.) y la clave pública de la misma, haciéndose responsable de la autenticidad de los datos que figuran en el certificado otra persona o entidad de confianza, denominada **Autoridad Certificadora** (AC).

- Si el certificado es auténtico y confiamos en la AC, entonces, podemos confiar en que el sujeto identificado en el certificado digital posee la clave pública que se señala en dicho certificado.

- ***Así pues, si un sujeto firma un documento y anexa su certificado digital, cualquiera que conozca la clave pública de la AC podrá autentificar el documento***

6.2 Autoridad certificadora

CONCEPTO DE CERTIFICADO DIGITAL

- El formato de los certificados digitales es estándar, siendo X.509 v3 el recomendado por la Unión Internacional de Comunicaciones (ITU) y el que está en vigor en la actualidad.

- Los datos que figuran generalmente en un certificado son:
  - **Versión**: versión del estándar X.509, generalmente la 3, que es la más actual.
  - **Número de serie**: número identificador del certificado, único para cada certificado expedido por una AC determinada.
  - **Algoritmo de firma**: algoritmo criptográfico usado para la firma digital.
  - **Autoridad Certificadora**: datos sobre la autoridad que expide el certificado.
  - **Fechas de inicio y de fin de validez del certificado**: Definen el periodo de validez del mismo, que generalmente es de un año.
  - **Propietario**: persona o entidad vinculada al certificado. Dentro de este apartado se usan una serie de abreviaturas para establecer datos de identidad.
  - **Clave pública:** representación de la clave pública vinculada a la persona o entidad (en hexadecimal), junto con el algoritmo criptográfico para el que es aplicable.
  - **Algoritmo** usado por la **Autoridad Certificadora** firmar la clave pública.
  - **Firma de la Autoridad Certificadora**, que asegura la autenticidad del mismo.
  - **Información adicional**, como tipo de certificado, etc.

6.2 Autoridad certificadora

CONCEPTO DE CERTIFICADO DIGITAL

- El **certificado digital vincula**, pues, indisolublemente a una **persona o entidad** con una **clave pública**, y mediante el sistema de firma digital se asegura que el certificado que recibimos es realmente de la persona o entidad que consta en el mismo.

- Los procesos de validación de certificados, obtención de resúmenes, descifrados y comprobación de coincidencia se realizan por el software adecuado del navegador web o programa de seguridad particular de forma transparente al usuario, por lo que éste será informado sólo en el caso de que el certificado no sea válido.

Visualizar certificados con mmc.
Observar que en el campo clave pública contiene el identificador de RSA y a continuación el módulo n de 2048 bits y el exponente e en hexadecimal.
Habitualmente $e=010001_{(16}=65537$

6.2 Autoridad certificadora

CONCEPTO DE CERTIFICADO DIGITAL

```
Certificate:
   Data:
       Version: 1 (0x0)
       Serial Number: 7829 (0x1e95)
       Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
       Issuer: C=ZA, ST=Western Cape, L=Cape Town, O=Thawte Consulting cc,
               OU=Certification Services Division,
               CN=Thawte Server CA/Email=server-certs@thawte.com
       Validity
           Not Before: Jul  9 16:04:02 1998 GMT
           Not After : Jul  9 16:04:02 1999 GMT
       Subject: C=US, ST=Maryland, L=Pasadena, O=Brent Baccala,
                OU=FreeSoft, CN=www.freesoft.org/Email=baccala@freesoft.org
       Subject Public Key Info:
           Public Key Algorithm: rsaEncryption
           RSA Public Key: (1024 bit)
               Modulus (1024 bit):
                   00:b4:31:98:0a:c4:bc:62:c1:88:aa:dc:b0:c8:bb:
                   33:35:19:d5:0c:64:b9:3d:41:b2:96:fc:f3:31:e1:
                   66:36:d0:8e:56:12:44:ba:75:eb:e8:1c:9c:5b:66:
                   70:33:52:14:c9:ec:4f:91:51:70:39:de:53:85:17:
                   16:94:6e:ee:f4:d5:6f:d5:ca:b3:47:5e:1b:0c:7b:
                   c5:cc:2b:6b:c1:90:c3:16:31:0d:bf:7a:c7:47:77:
                   8f:a0:21:c7:4c:d0:16:65:00:c1:0f:d7:b8:80:e3:
                   d2:75:6b:c1:ea:9e:5c:5c:ea:7d:c1:a1:10:bc:b8:
                   e8:35:1c:9e:27:52:7e:41:8f
               Exponent: 65537 (0x10001)
   Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
       93:5f:8f:5f:c5:af:bf:0a:ab:a5:6d:fb:24:5f:b6:59:5d:9d:
       92:2e:4a:1b:8b:ac:7d:99:17:5d:cd:19:f6:ad:ef:63:2f:92:
       ab:2f:4b:cf:0a:13:90:ee:2c:0e:43:03:be:f6:ea:8e:9c:67:
       d0:a2:40:03:f7:ef:6a:15:09:79:a9:46:ed:b7:16:1b:41:72:
       0d:19:aa:ad:dd:9a:df:ab:97:50:65:f5:5e:85:a6:ef:19:d1:
       5a:de:9d:ea:63:cd:cb:cc:6d:5d:01:85:b5:6d:c8:f3:d9:f7:
       8f:0e:fc:ba:1f:34:e9:96:6e:6c:cf:f2:ef:9b:bf:de:b5:22:
       68:9f
```

6.2 Autoridad certificadora

CONCEPTO DE CERTIFICADO DIGITAL

```
Certificate:
   Data:
       Version: 3 (0x2)
       Serial Number: 1 (0x1)
       Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
       Issuer: C=ZA, ST=Western Cape, L=Cape Town, O=Thawte Consulting cc,
               OU=Certification Services Division,
               CN=Thawte Server CA/Email=server-certs@thawte.com
       Validity
           Not Before: Aug  1 00:00:00 1996 GMT
           Not After : Dec 31 23:59:59 2020 GMT
       Subject: C=ZA, ST=Western Cape, L=Cape Town, O=Thawte Consulting cc,
                OU=Certification Services Division,
                CN=Thawte Server CA/Email=server-certs@thawte.com
       Subject Public Key Info:
           Public Key Algorithm: rsaEncryption
           RSA Public Key: (1024 bit)
               Modulus (1024 bit):
                   00:d3:a4:50:6e:c8:ff:56:6b:e6:cf:5d:b6:ea:0c:
                   68:75:47:a2:aa:c2:da:84:25:fc:a8:f4:47:51:da:
                   85:b5:20:74:94:86:1e:0f:75:c9:e9:08:61:f5:06:
                   6d:30:6e:15:19:02:e9:52:c0:62:db:4d:99:9e:e2:
                   6a:0c:44:38:cd:fe:be:e3:64:09:70:c5:fe:b1:6b:
                   29:b6:2f:49:c8:3b:d4:27:04:25:10:97:2f:e7:90:
                   6d:c0:28:42:99:d7:4c:43:de:c3:f5:21:6d:54:9f:
                   5d:c3:58:e1:c0:e4:d9:5b:b0:b8:dc:b4:7b:df:36:
                   3a:c2:b5:66:22:12:d6:87:0d
               Exponent: 65537 (0x10001)
       X509v3 extensions:
           X509v3 Basic Constraints: critical
               CA:TRUE
   Signature Algorithm: md5WithRSAEncryption
       07:fa:4c:69:5c:fb:95:cc:46:ee:85:83:4d:21:30:8e:ca:d9:
       a8:6f:49:1a:e6:da:51:e3:60:70:6c:84:61:11:a1:1a:c8:48:
       3e:59:43:7d:4f:95:3d:a1:8b:b7:0b:62:98:7a:75:8a:dd:88:
       4e:4e:9e:40:db:a8:cc:32:74:b9:6f:0d:c6:e3:b3:44:0b:d9:
       8a:6f:9a:29:9b:99:18:28:3b:d1:e3:40:28:9a:5a:3c:d5:b5:
       e7:20:1b:8b:ca:a4:ab:8d:e9:51:d9:e2:4c:2c:59:a9:da:b9:
       b2:75:1b:f6:42:f2:ef:c7:f2:18:f9:89:bc:a3:ff:8a:23:2e:
       70:47
```

Autofirmado

6.2 Autoridad certificadora

- El uso de la criptografía asimétrica plantea el problema de cómo **asegurar que la clave pública** de un usuario **corresponde** realmente al mismo y no ha sido falsificada por otro.

- La solución más ampliamente adoptada consiste en recurrir a una **tercera parte confiable**, erigida en la figura de una **Autoridad Certificadora (AC)**.

- La **función básica** de una **AC** consiste en **verificar la identidad** de los solicitantes de certificados, **crear los certificados** y **publicar listas de revocación** cuando éstos son inutilizados.

- El certificado **contiene** de forma estructurada información acerca de la **identidad de su titular, su clave pública y la AC que lo emitió**.

- La **confianza** de los **usuarios** en la **Autoridad Certificadora** es fundamental para el buen funcionamiento del servicio.
  - Caso sysmatec

6.2 Autoridad certificadora

- El entorno de seguridad (control de acceso, cifrado, etc.) de la AC ha de ser muy fuerte, en particular en lo que respecta a **la protección de la Clave Privada** que utiliza para firmar sus emisiones.

- Si este secreto se viera comprometido, toda la infraestructura de Clave Pública (PKI) se vendría abajo.

6.2 Autoridad certificadora

- Con el tiempo, una Autoridad Certificadora puede verse fácilmente desbordada si cubre un área geográfica muy extensa o muy poblada, por lo que a menudo delega en las llamadas ***Autoridades Registradoras*** (**AR**) la labor de verificar la identidad de los solicitantes.

- Las **AR** pueden abrir multitud de oficinas regionales dispersas por un gran territorio, llegando hasta los usuarios en los sitios más remotos, mientras que la AC se limitaría así a certificar a todos los usuarios aceptados por las AR dependientes de ella.

- **Gracias a esta descentralización se agiliza el proceso de certificación y se aumenta la eficacia en la gestión de solicitudes.**

6.2 Autoridad certificadora

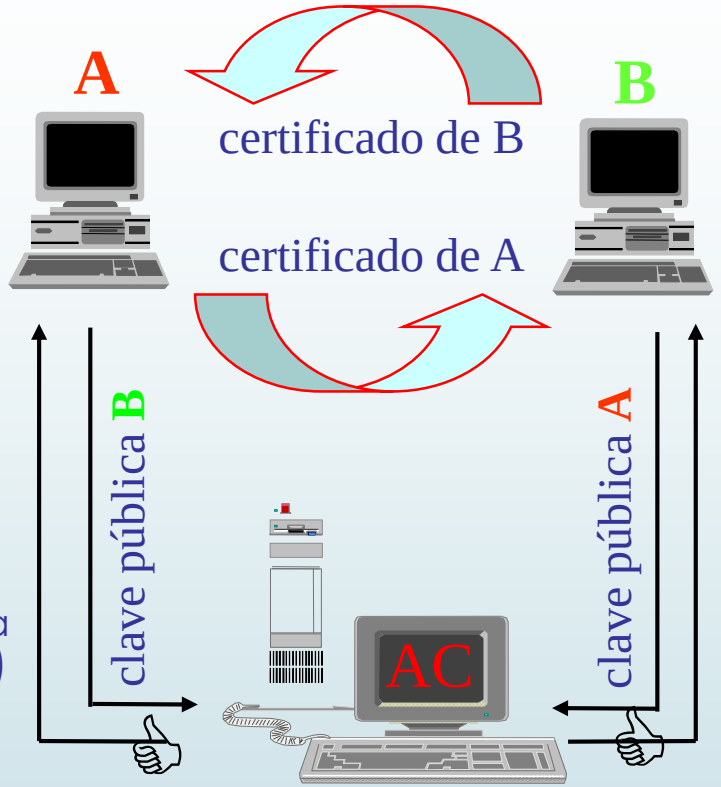
- La AC se encarga de realizar las siguientes tareas:
  - **Emisión de los certificados de usuarios** registrados y validados por la Autoridad Registradora.
  - **Revocación de los certificados** que ya no sean válidos (CRL - lista de certificados revocados). Un certificado puede ser revocado por que los **datos han dejado de ser válidos**, la **clave privada ha sido comprometida** o el c**ertificado ha dejado de tener validez** dentro del contexto para el que había sido emitido.
  - **Renovación de certificados**.
  - **Publicar certificados** en el directorio repositorio de certificados.

6.2 Autoridad certificadora

- Las **Autoridades Registradoras** realizan las siguientes tareas:
  - **Validar solicitudes de certificado en base a determinados procedimientos de identificación**, apropiados a los niveles de seguridad que ofrece cada categoría de certificado (políticas de seguridad).
  - **Mandar las peticiones de generación de certificados a la Autoridad de Certificación**, para que esta los firme con su clave privada.
  - **Recibir los certificados solicitados** a la Autoridad de Certificación.
  - **Entregar físicamente los certificados a los solicitantes**, por cualquier medio (e-mail, disquete, …)
  - **Informar a los usuarios de la necesidad de la renovación** de su certificado.
  - **Petición de revocación de un certificado** (también puede solicitarlo el propio usuario).

6.2 Autoridad certificadora

- Autoridad de Certificación es un ente u organismo que, de acuerdo con unas políticas y algoritmos, certificará (por ejemplo) claves públicas de usuarios o servidores.
- El usuario **A** enviará al usuario **B** su certificado (clave pública y otros datos firmados por AC) y éste comprobará con esa autoridad su autenticidad.
- Lo mismo en sentido contrario.



Autoridad de Certificación AC

6.2 Autoridad certificadora

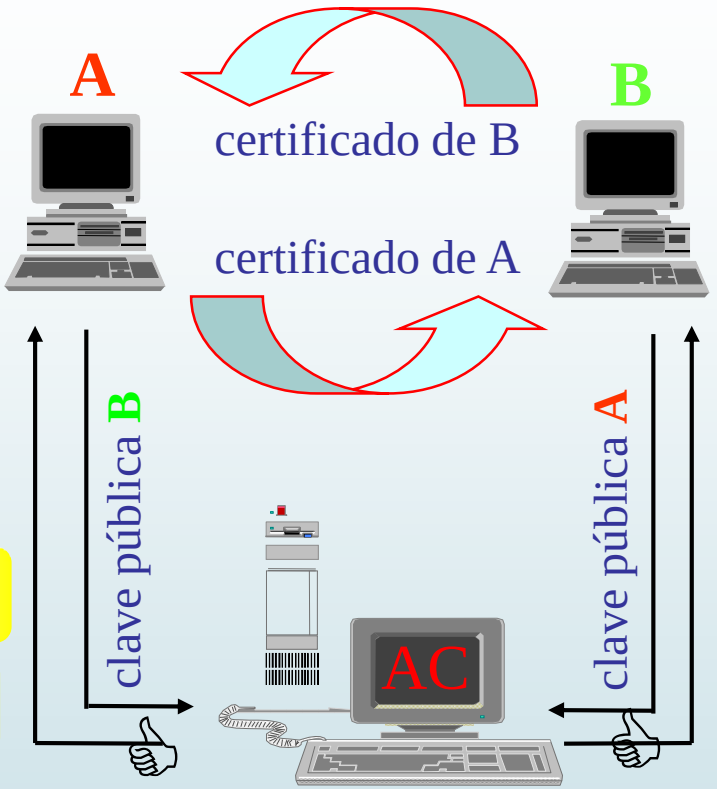
A K_A k_A E_{K_A} D_{k_A}

B K_B k_B E_{K_B} D_{k_B}

AC K_{AC} k_{AC} $E_{K_{AC}}$ $D_{k_{AC}}$

Certificado de A $c_A = D_{k_{AC}}(K_A)$

Certificado de B $c_B = D_{k_{AC}}(K_B)$



Autoridad de Certificación AC

Autentificación de A $E_{K_{AC}}(c_A) = K_A$

Autenticación de B $E_{K_{AC}}(c_B) = K_B$

6.2 Autoridad certificadora - RSA

A n_A e_A d_A

B n_B e_B d_B

AC n_{AC} e_{AC} d_{AC}

Certificado de A, $c_A = D_{k_{AC}}(e_A) = e_A^{\,d_{AC}} \bmod n_{AC}$

Certificado de B, $c_B = D_{k_{AC}}(e_B) = e_B^{\,d_{AC}} \bmod n_{AC}$

Autentificación de A $E_{K_{AC}}(c_A) = e_A$

Autenticación de B $E_{K_{AC}}(c_B) = e_B$

6.2 Autoridad certificadora

EJEMPLO RSA

Una autoridad certificadora (AC) tiene clave pública RSA e_{AC}= 47, siendo
n_{AC}= 899.

Benito (B) tiene clave pública RSA e_B= 611, siendo n_B= 851, y un certificado de e_B expedido por la autoridad AC con valor c_B= 530.

Alicia desea enviar un mensaje cifrado a Benito y quiere tener la seguridad de que la clave pública de Benito es e_B.

¿Cómo puede verificar que la clave pública de Benito es auténtica?

Compruébalo aplicando el protocolo correspondiente y efectuando los cálculos pertinentes.

6.2 Autoridad certificadora

EJEMPLO RSA

Sabemos que $c_B = D_{k_{AC}}(e_B) = 530$

Para verificar que la clave de Benito es auténtica, Alicia debe comprobar que

$e_B = E_{K_{AC}}(c_B)$

Apliquemos el protocolo con los cálculos pertinentes para comprobar que la clave es auténtica.

$E_{K_{AC}}(c_B) = c_B^{e_{AC}} \bmod n_{AC} = 530^{47} \bmod 899 = \mathbf{611} = e_B$

Por lo que la clave pública de Benito es auténtica.

530^{1}	mod	899 =					=	**530**	**1**		
530^{2}	mod	899 =	530^{2}	mod	899 =	280900 mod 899 =		**412**	**1**	530 . 412 mod 899 =	802
530^{4}	mod	899 =	412^{2}	mod	899 =	169744 mod 899 =		**732**	**1**	802 . 732 mod 899 =	17
530^{8}	mod	899 =	732^{2}	mod	899 =	535824 mod 899 =		**20**	**1**	17 . 20 mod 899 =	340
530^{16}	mod	899 =	20^{2}	mod	899 =	400 mod 899 =		400	**0**		
530^{32}	mod	899 =	400^{2}	mod	899 =	160000 mod 899 =		**877**	**1**	340 . 877 mod 899 =	**611**

$47_{(2)} = \mathbf{101111}$