

# Crisa

## Efectos del 'Clima Espacial' en los sistemas electrónicos

Problemas y medidas de prevención

*José Fco. Moreno / 24 de Marzo de 2011*

All the space you need



## Indice

1. Sobre Crisa
2. El Clima Espacial
3. Problemas que puede causar a las infraestructuras
4. Problemas que puede causar a los satélites
5. Efectos que produce en las electrónica
6. Medidas de prevención y protección
7. Conclusiones

Crisa

1

Sobre Crisa ...

All the space you need



# Crisa

## Las 4 grandes divisiones de EADS:

 **AIRBUS**  
AN EADS COMPANY



 **ASTRIUM**  
AN EADS COMPANY



 **EUROCOPTER**  
AN EADS COMPANY



 **CASSIDIAN**  
AN EADS COMPANY



All the space you need

 **ASTRIUM**  
AN EADS COMPANY



# Crisa

## La empresa de Electrónica de Astrium en España

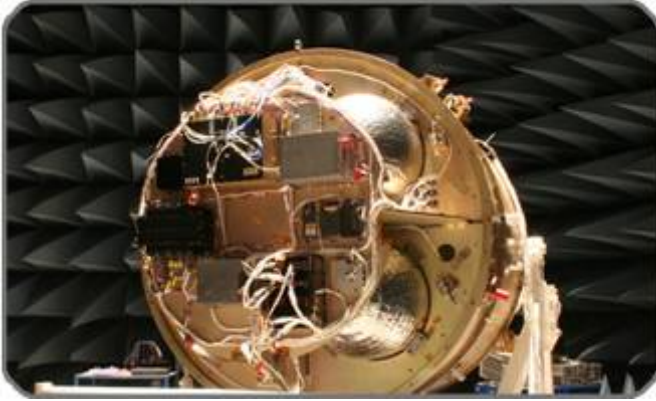
- Fundada en 1985. ~450 personas
- La compañía líder en España en diseño y fabricación de electrónica espacial.
- Sita en Tres Cantos, ~15 km al norte de Madrid
- Más de 700 equipos de vuelo lanzados o embarcados en satélites.
- Contribuyendo a prácticamente todos los programas de la Agencia Espacial Europea (ESA)
- Gran reputación como compañía de alta tecnología del sector espacial (lanzadores, satélites y vehículos espaciales) y en los sectores de telecomunicaciones, audiovisual y de Defensa.



All the space you need



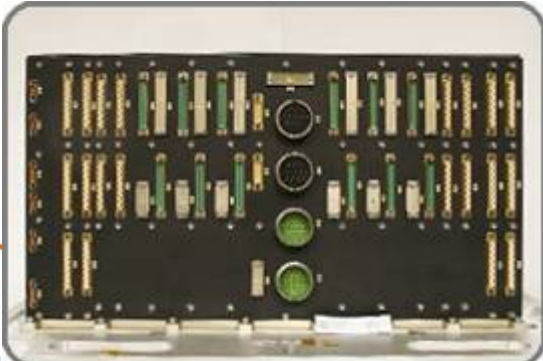
This document and its content is the property of Astrium [Ltd/SAS/ GmbH] and is strictly confidential. It shall not be communicated to any third party without the written consent of Astrium [Ltd/SAS/ GmbH].



VEGA avionics integration and test



JWST NIRSpec instrument controller



GOCE power subsystem

Science & EO instruments / payloads

System engineering

Electrical Propulsion PPU

Driving Electr. & Cooler electr.

Power Subsystems PCDU

DC/DC Converters

On board computers (ICU)

Digital Signal Processing

Remote Terminal controllers

Star Tracker/Cam Electronics

Proximity Electronics

Mission Scheduling

Data Management

Recurrent production for  
E3000 & Launchers.  
Technology engineering

Small EO/Sc  
payloads &  
System  
engineering

Power  
Systems

Data  
Handling

Ground Segment

Manufacturing

# 2 El Clima Espacial

All the space you need



## Definición

- “Conditions on the Sun and in the solar wind, magnetosphere, ionosphere and thermosphere that can influence the performance and reliability of space-borne and ground-based technological systems and can endanger human life or health.” [[US National Space Weather Programme](#)]
- “Condiciones en el Sol y en el viento solar, la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera que pueden influenciar el funcionamiento y la confiabilidad de los sistemas tecnológicos espaciales embarcados y terrestres y que pueden poner en peligro vida humana o salud.”



## Escala de efectos NOAA (I)

Categoría		Efectos	Parámetro físico	Frecuencia promedio
Escala	Descriptor	La duración del evento influye en la severidad de los efectos	Flujo de iones con más de 10 MeV	Nº de eventos con el nivel de flujo indicado
S5	Extrema	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Biológicos:</b> Riesgo inevitable de exposición a la radiación para astronautas en actividades extravehiculares (EVA). Los pasajeros y la tripulación de aviones volando a elevada altitud en latitudes elevadas pueden quedar expuestos a riesgos de radiación.</li><li>• <b>Operaciones de sistemas espaciales:</b> Los satélites pueden quedar inoperativos. El impacto en las memorias digitales puede causar pérdida de control. Elevados niveles de ruido en la transmisión de imágenes. Imposibilidad de localizar fuentes en los sistemas de seguimiento estelar y posibles daños permanentes en los paneles solares.</li><li>• <b>Radiocomunicaciones:</b> Posibles apagones totales en las bandas de HF, especialmente a través de las regiones polares.</li><li>• <b>Radionavegación:</b> Extremadamente difícil por errores de posicionamiento.</li></ul>	$10^5$	Menos de 1 por ciclo

## Escala de efectos NOAA (II)

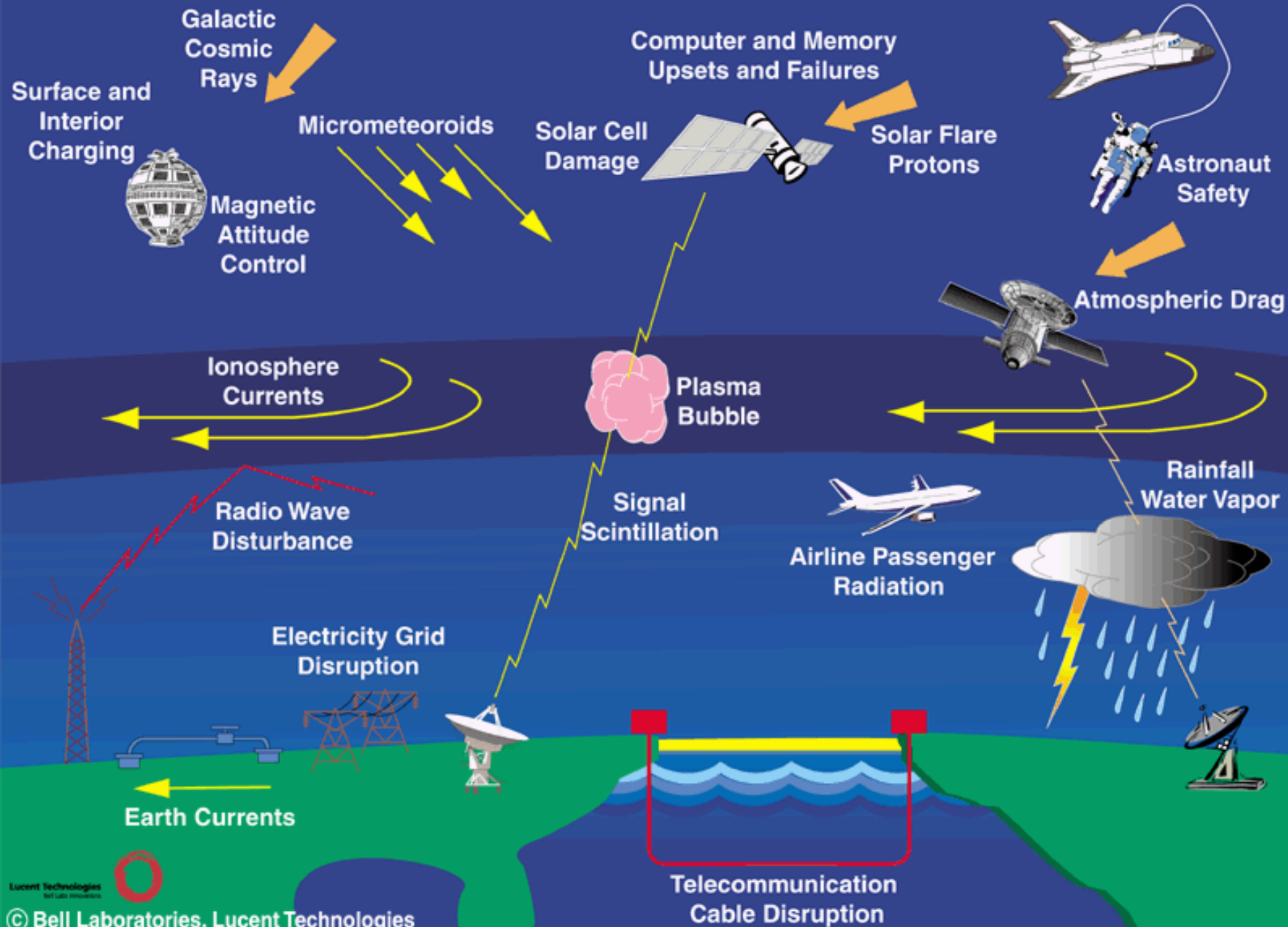
S4	Severa	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Biológicos:</b> Riesgo inevitable de exposición a la radiación para astronautas en actividades extravehiculares (EVA). Los pasajeros y la tripulación de aviones volando a elevada altitud en latitudes elevadas tienen riesgo de exposición a la radiación.</li><li>• <b>Operaciones de sistemas espaciales:</b> Pueden experimentar problemas en las memorias digitales y ruido en la transmisión de imágenes. Posibles problemas de orientación en sistemas de seguimiento estelar. La eficiencia de los paneles solares puede degradarse.</li><li>• <b>Radiocomunicaciones:</b> Posibles apagones en las bandas de HF, especialmente a través de las regiones polares, durante varios días.</li><li>• <b>Radionavegación:</b> Aumento de errores en los sistemas de radionavegación, durante varios días.</li></ul>	10 <sup>-4</sup>	3 por ciclo
----	--------	--	------------------	-------------

# Crisa

# 3 Efectos en la Tierra

All the space you need





Galactic Cosmic Rays

Computer and Memory Upsets and Failures

Surface and Interior Charging

Micrometeoroids

Solar Cell Damage

Solar Flare Protons

Astronaut Safety

Magnetic Attitude Control

Atmospheric Drag

Ionosphere Currents

Plasma Bubble

Radio Wave Disturbance

Signal Scintillation

Rainfall Water Vapor

Airline Passenger Radiation

Electricity Grid Disruption

Earth Currents

Telecommunication Cable Disruption



# Crisa

## Algunos efectos que se notan aquí, en la Tierra (I)

- Problemas en las infraestructuras energéticas:
  - **Redes eléctricas**
    - Tormenta solar del 13 de marzo de 1989 (Coronal Mass Ejection (CME) generando plasma, electrones y radiación (produce sobrevoltajes por inducción de corrientes):
      - *Caída de la red de Quebec en Canadá*
      - *Transformadores fundidos en la red eléctrica de New Jersey.*
    - Caída de red en Suecia el 29 de octubre de 2003.
  - **Oleoductos:**
    - Corrosión por inducción de corrientes; ignición ...
    - 4 de junio de 1989, explosión del oleoducto en Siberia.
- **Perturbaciones en las comunicaciones**
  - Pérdida o anomalías en las comunicaciones de AF (debido a los Rayos X de las llamaradas solares)
  - Anomalías en las comunicaciones por satélite (desvanecimiento, ruido)

# Crisa

## Algunos efectos que se notan aquí, en la Tierra (II)

### ■ Transporte aéreo:

- Peligro para la aviónica y para los pasajeros
- Desvíos de los aviones en rutas polares.
- Interferencias en las señales de navegación (terrestres y satelitales)

*Durante una erupción solar grande, cada pasajero puede recibir la dosis de radiación equivalente a una radiografía torácica. Problema para las tripulaciones y viajeros frecuentes.*

### ■ ¿ Automoción y tráfico ferroviario?

- ¿ Problemas de Toyota y Lexus con aceleraciones inesperadas ?
- ¿ Problemas de quemado de Mosfets en las redes ferroviarias francesas?

### ■ ¿ Electrónica de consumo ?

### ■ Defensa

- Perdida de comunicaciones en AF con lugares remotos, barcos,...
- Problemas de detección con los radares de horizonte,...
- Incertidumbres en el posicionamiento.

### ■ Efectos en el medio ambiente

- Variabilidad de la capa de Ozono
- Variabilidad de la ionosfera, etc.
- Efectos climáticos

# Crisa

# 4 Problemas a los satélites

All the space you need



## Problemas que puede causar a los satélites

### ■ Problemas en los satélites

- Degradación de los paneles solares
- Reentrada prematura de satélites en baja órbita
- Interferencia en las cámaras y detectores
- Envejecimiento de los materiales y equipos electrónicos
  - Derivas paramétricas
  - No funcionamiento
- Carga y descargas electrostáticas
  - Anomalías en órbita: comandos espúreos, degradación de componentes
  - Roturas / quemados. Fallos de funcionamiento
- Eventos simples de radiación:
  - Destrucción de equipos. Pérdida de función o de la misión
  - Disponibilidad temporal

>14 satélites fallados desde 1996.



- Estudio de fallos en órbita (*Mak Tafazoli, Acta Astronautica Volume 64*). 156 fallos analizados entre 1980 a 2005 en satélites tanto comerciales como militares.
  - Los fallos en las electrónicas son el tipo de fallo más común (45% de todos los fallos están relacionados con la electrónica). El segundo tipo más común son los fallos mecánicos.
  - El sistema de control de actitud y órbita es el de mayor probabilidad de fallo (32%) seguido del subsistema de potencia (27%).
  - El 40% de los fallos causa una pérdida total de la misión.
  - **El 16% de los fallos tiene su origen directo en el clima espacial (tormentas solares, radiación, escombros, etc.)**
  - La mayoría de los fallos (48%) acontecen durante el primer año de la misión.

# Crisis

# 5 Efectos en la electrónica

Asumiendo, claro está, una alimentación eléctrica correcta

All the space you need



# Crisa

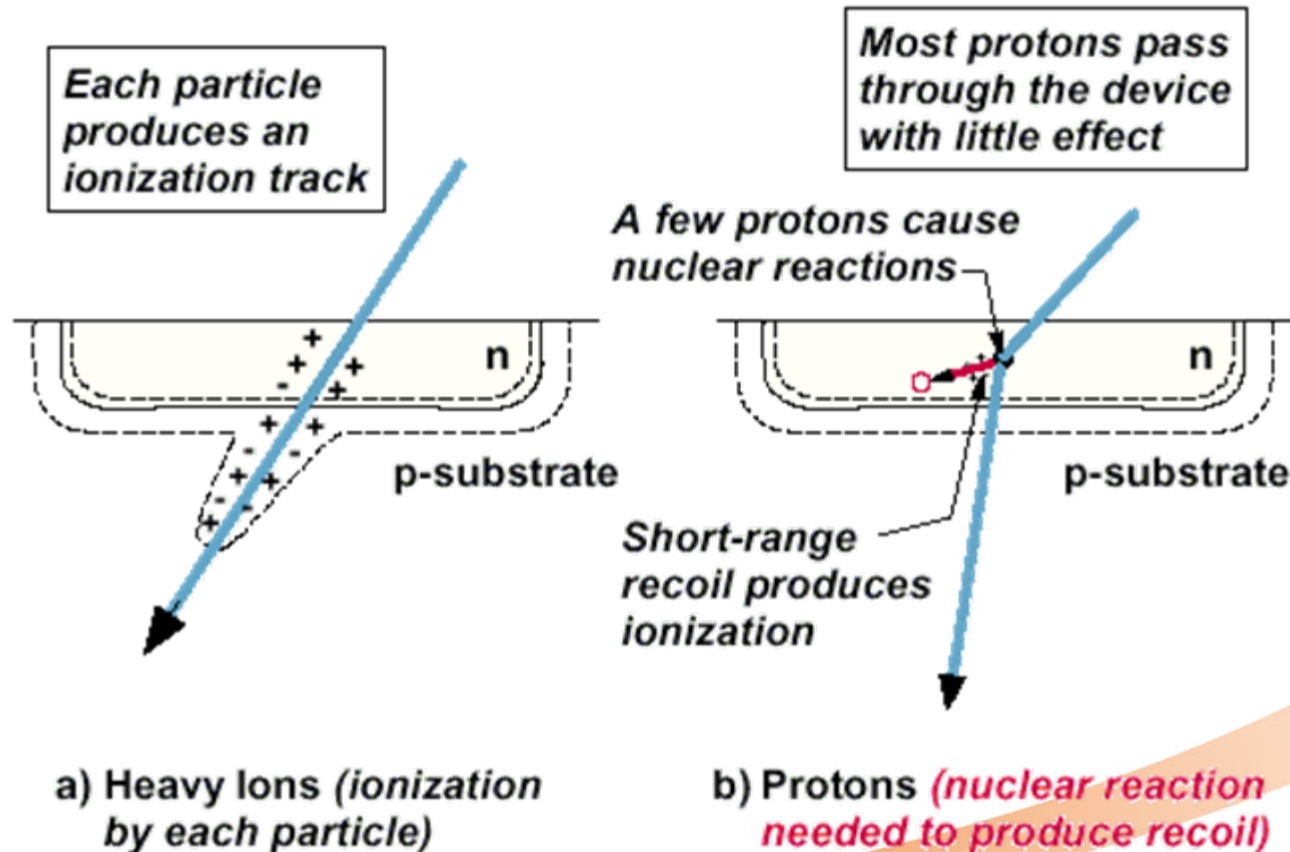
## Clasificación Causas / Efectos

Fuente: ESA

FENOMENO	EFFECTOS
<b>Radiación cósmica</b> (protones y núcleos pesados altamente ionizados)  Producción de radiación secundaria atmosférica.	* Efectos en circuitos electrónicos embarcados y en electrónica al nivel del mar: <ul style="list-style-type: none"><li>- SEE's en la electrónica.</li><li>- Ruido de fondo en sistemas de sensores.</li></ul>
Eventos por <b>partículas solares</b> (protones e iones pesados)	* Incremento considerable de las tasas de SEU's * Aumento significativo de las dosis de radiación recibidas en aviones en altitudes de crucero.
<b>El anillo de radiación interno</b> (protones y electrones energéticos)	* Daños por dosis total de radiación, ruido en los sistemas, SEE's
<b>El anillo de radiación externo</b> (electrones muy energéticos)	* Dosis total de radiación acumulada y otros daños. * Carga profunda en los dieléctricos (responsable de numerosas anomalías y algunos casos de pérdidas). * Anomalías por cargas superficiales
<b>CME:</b> Eyecciones de masa coronal	* Inducción magnética



## Efectos de la radiación en los componentes (I)



Fuente: "Space Radiation Effects on Microelectronics", NASA-JPL



# Crisa

## Efectos de la radiación en los componentes (II)

### 1) Ionización (TID):

#### ■ Mecanismo:

- Generación de carga, confinamiento de la misma y acumulación en capas aislantes

#### ■ Originado por ...

- Electrones y Protones

#### ■ Efectos principales:

- Efecto acumulativo
- Derivas paramétricas, incrementos de corrientes de fugas; pérdidas de inmunidad a ruidos. Envejecimiento y fallo funcional del componente.

#### ■ ¿Qué se puede hacer?

- Para asegurar que un componente sobrevive a la radiación, la dosis total que va a ver debe calcularse y compararse con su especificación de tolerancia a la radiación. Si no es suficiente hay que comprar un componente de mayor tolerancia, cambiarlo por otro, o asegurar un mayor blindaje.

#### ■ ¿Es motivo de preocupación para la industrial general?

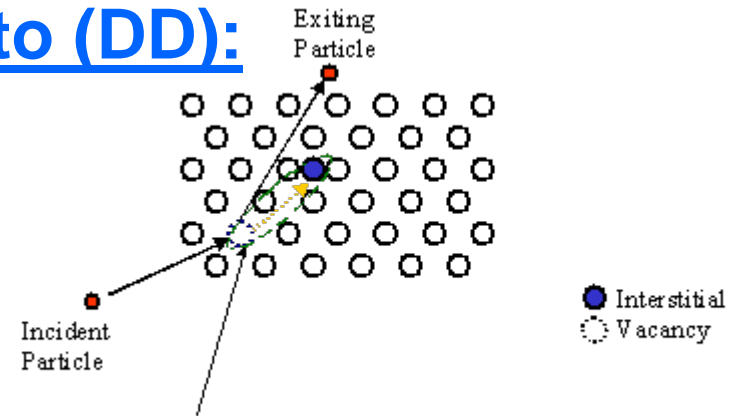
- No, la atmósfera proporciona suficiente blindaje

# Crisa

## Efectos de la radiación en los componentes (III)

### 2) Daños por desplazamiento (DD):

- **Mecanismo:**
  - Rotura de la estructura cristalina.
- **Originado por ...**
  - Protones y neutrones
- **Efectos principales:**
  - Efecto acumulativo
  - Disminución de ganancia, aumento de resistencia de conducción en transistores; reducción de salida en LED's, dificultades para la transferencia de carga en CCD's, etc.
- **¿Qué se puede hacer?**
  - Prácticamente nada. Usar mejores componentes (más tolerantes a radiación).
- **¿Es motivo de preocupación para la industrial general?**
  - No, la atmósfera proporciona suficiente blindaje



Source: <http://holbert.faculty.asu.edu>

# Crisa

## Efectos de la radiación en los componentes (IV)

### 3) Eventos Simples (“Single-Event”): SEU/SEL, Ruptura de puerta, ‘Burnout’...

#### ■ Mecanismo:

- Rastro de ionización intensa en las zonas semiconductoras dejado por el choque/cruce de una partícula.

#### ■ Originado por ...

- Rayos cósmicos, protones de alta energía.

#### ■ Efectos principales:

- Efectos instantáneos
- Transitorios en dispositivos analógicos (salida, corriente...); cambios de estado ‘lógico’ en flip-flops y células de memoria (recuperables). Destrucción de los dispositivos por latch-up o ‘quemado’.

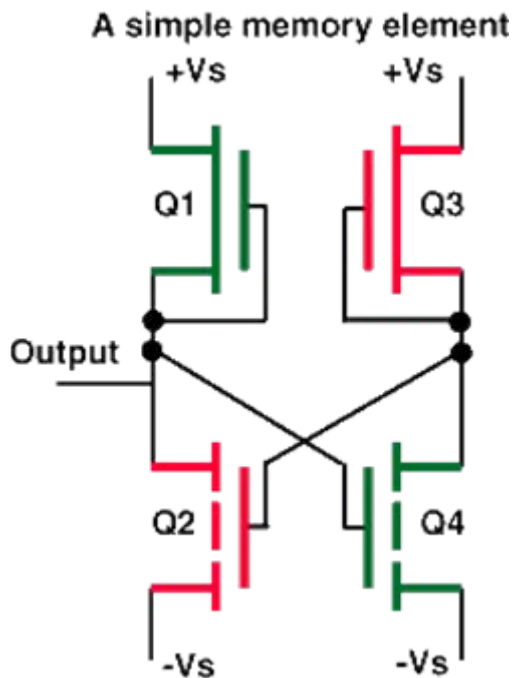
#### ■ ¿Qué se puede hacer?

- Usar mejores componentes (más tolerantes a radiación). Analizar los efectos y ver si son aceptables. Incluir detectores y correctores de fallos. Diseñar arquitecturas tolerantes a fallos. Detectar eventos destructivos y apagar dispositivos en fallo antes de su ruptura.

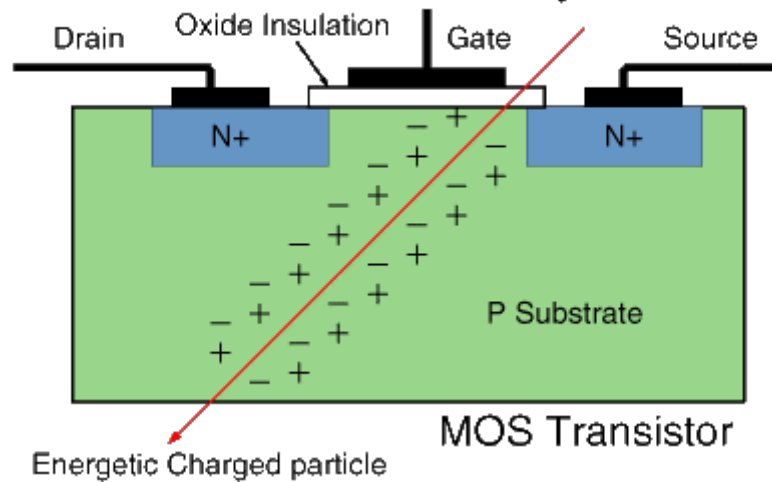
#### ■ ¿Es motivo de preocupación para la industrial general?

- Si, dependiendo de la criticidad de la aplicación.

## Ejemplo: cambio de un bit



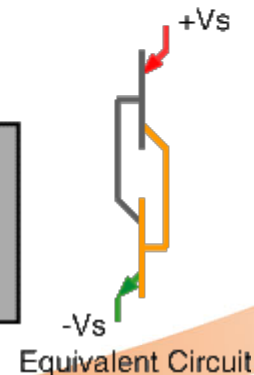
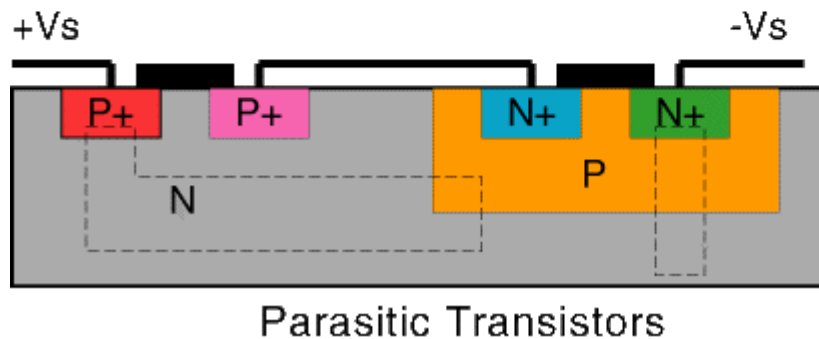
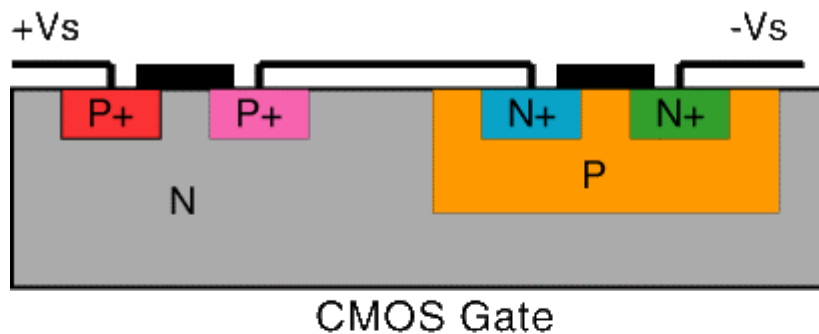
## Interaction of a Cosmic Ray and Silicon



Fuente: [www.aero.org](http://www.aero.org)



## Ejemplo: activación de transistor parásito y destrucción del dispositivo (latch-up)



Fuente: [www.aero.org](http://www.aero.org)

## Efectos de la radiación en los componentes (V)

### 4) Descarga electrostática

- Mecanismo:
  - Acumulación de carga
  - Genera gradiente de campo eléctrico y arcos de descarga.
- Originado por ... :
  - Electrones y Protones + fotones incidentes sobre las superficies
- Efectos principales:
  - Efecto acumulativo
  - Arcos eléctricos. Desgaste y quemado de materiales y fallos destructivos.
- ¿Qué se puede hacer?
  - Asegurar que no puedan crearse diferencias de potencial entre las distintas superficies (bonding).
    - Uso de pinturas y materiales conductores
    - Interconexión eléctrica de todas las superficies. Puesta a tierra
- ¿Es motivo de preocupación para la industrial general?
  - Es un problema muy conocido en muchas industrias.

# Crisa

## Efectos de la radiación en los componentes (VI)

### 5) Inducción

- Mecanismo:
  - Inducción eléctrica en presencia de un campo magnético variable.
- Originado por ....:
  - Inducción en lazos cerrados conductores.
- Efectos principales:
  - Sobre-corrientes, interferencias, ruido, estrés y fallo de los dispositivos.
- ¿Qué se puede hacer?
  - Jaulas de Faraday correctamente llevadas a tierra.
  - Correcto diseño EMC (minimización de área de lazos, filtros, ...)
- ¿Es motivo de preocupación para la industrial general?
  - Si, pero por los efectos de interferencia y susceptibilidad RF.

# Crisa

## 6 Medidas de prevención y protección

All the space you need

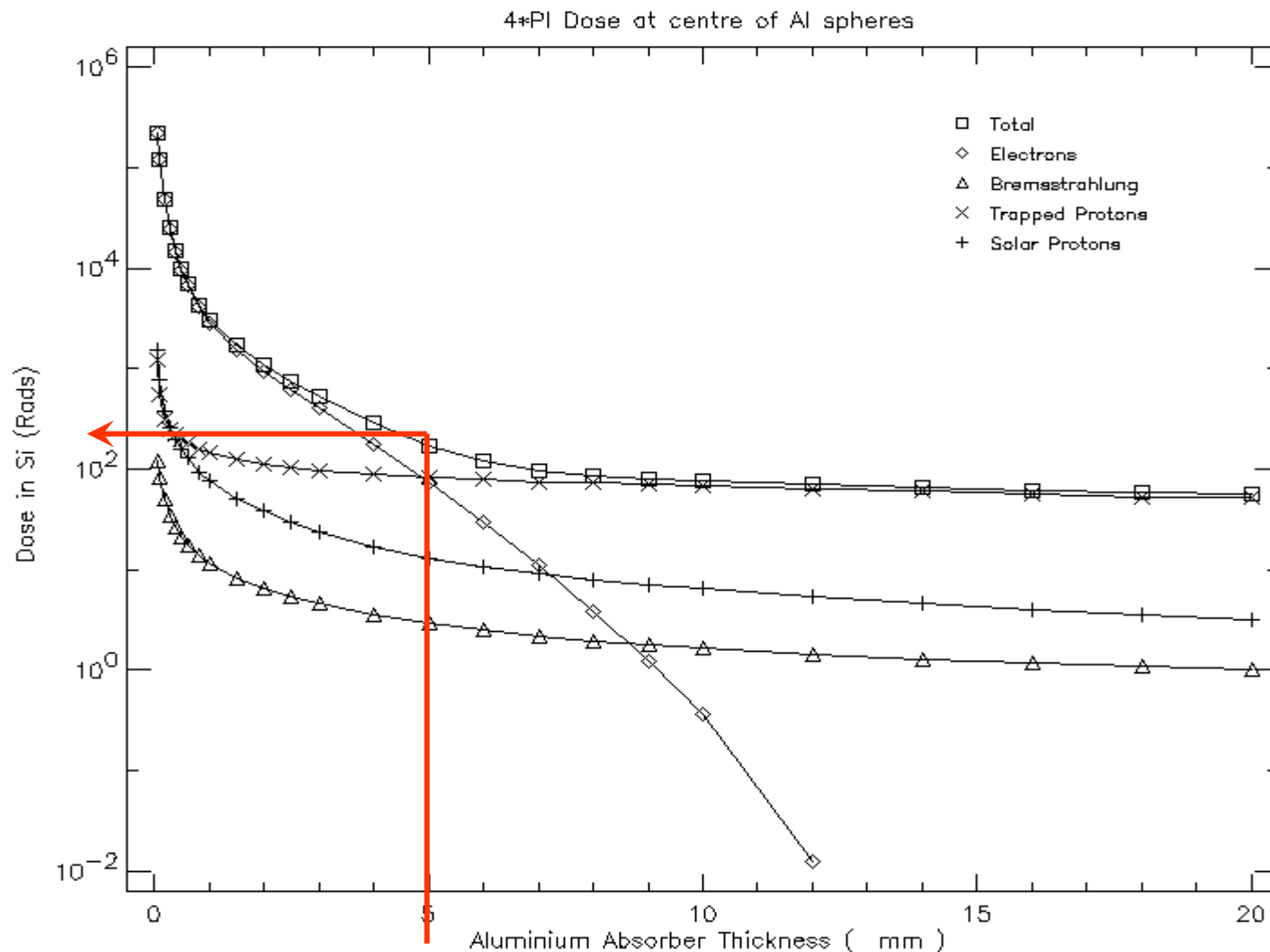




## Blindaje contra la radiación

- Protege principalmente contra las degradaciones por 'dosis total'.
- En la superficie terrestre tenemos suficiente 'blindaje' gracias a la atmósfera. No hay problema tampoco para las plataformas aéreas.
- Es un problema importante a tener en cuenta en el diseño de los satélites, y plataformas espaciales.

## EEI: Dosis acumulada en 1 año vs espesor de aluminio



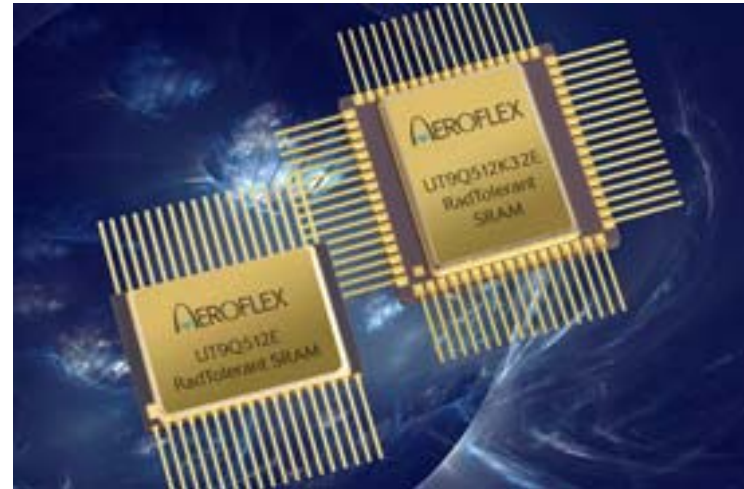
Ejemplo: Para 5mm de blindaje de Al → Dosis vista ~ 100 rads

## Medidas de protección ...

- Añadir más blindaje
  - Problema: El peso total que se añade
- Uso de componentes resistentes a la radiación
  - Solo un pequeño problema: ¡El precio!



**DDRAM: 512MB**  
**precio: ~ 20\$**



**SRAM: 512MB**  
**precio: ~ 3000\$**  
(cada chip)

# Crisa

## Efectos provocados por 'Eventos Simples' (SEE's)

- Muy importante en los satélites y plataformas orbitales.
- De alta importancia también para plataformas aéreas.
- Importante en sistemas críticos de tiempo real.



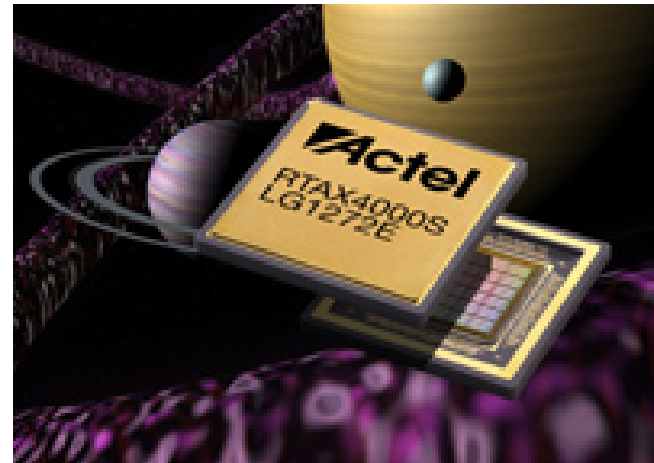
# Crisa

## Medidas de protección contra SEE's

- Añadiendo blindaje lo mejora poco ...
- Uso de componentes resistentes a la radiación
  - Solo un pequeño problema: ¡El precio!



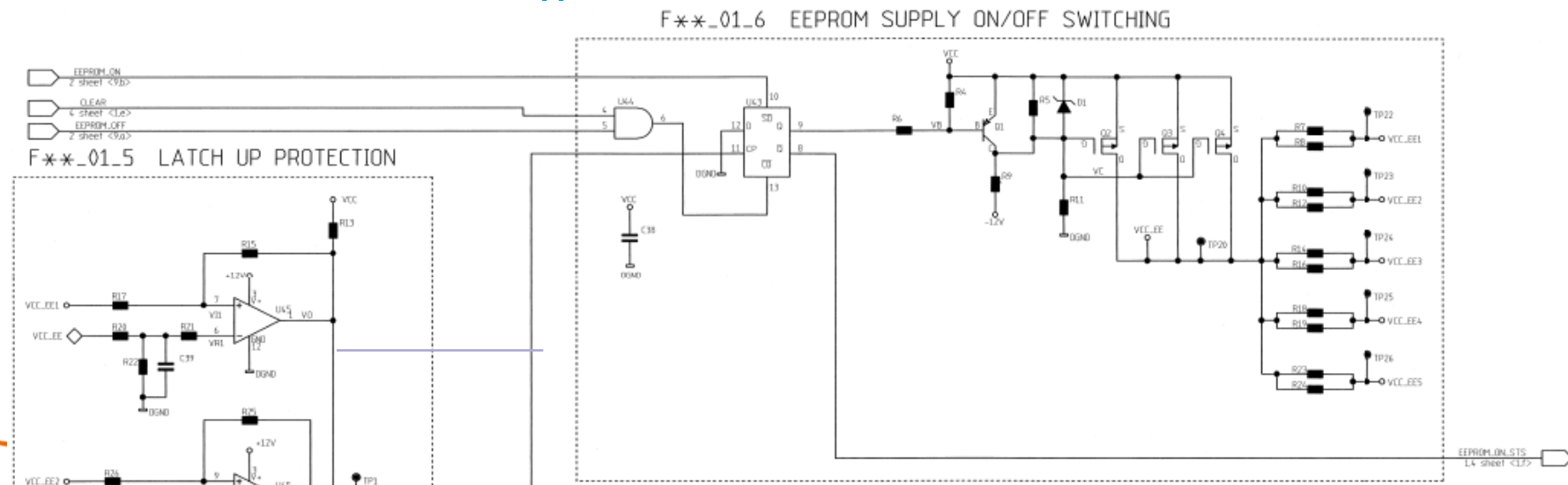
**FPGA comercial:**  
precio ~ 60\$



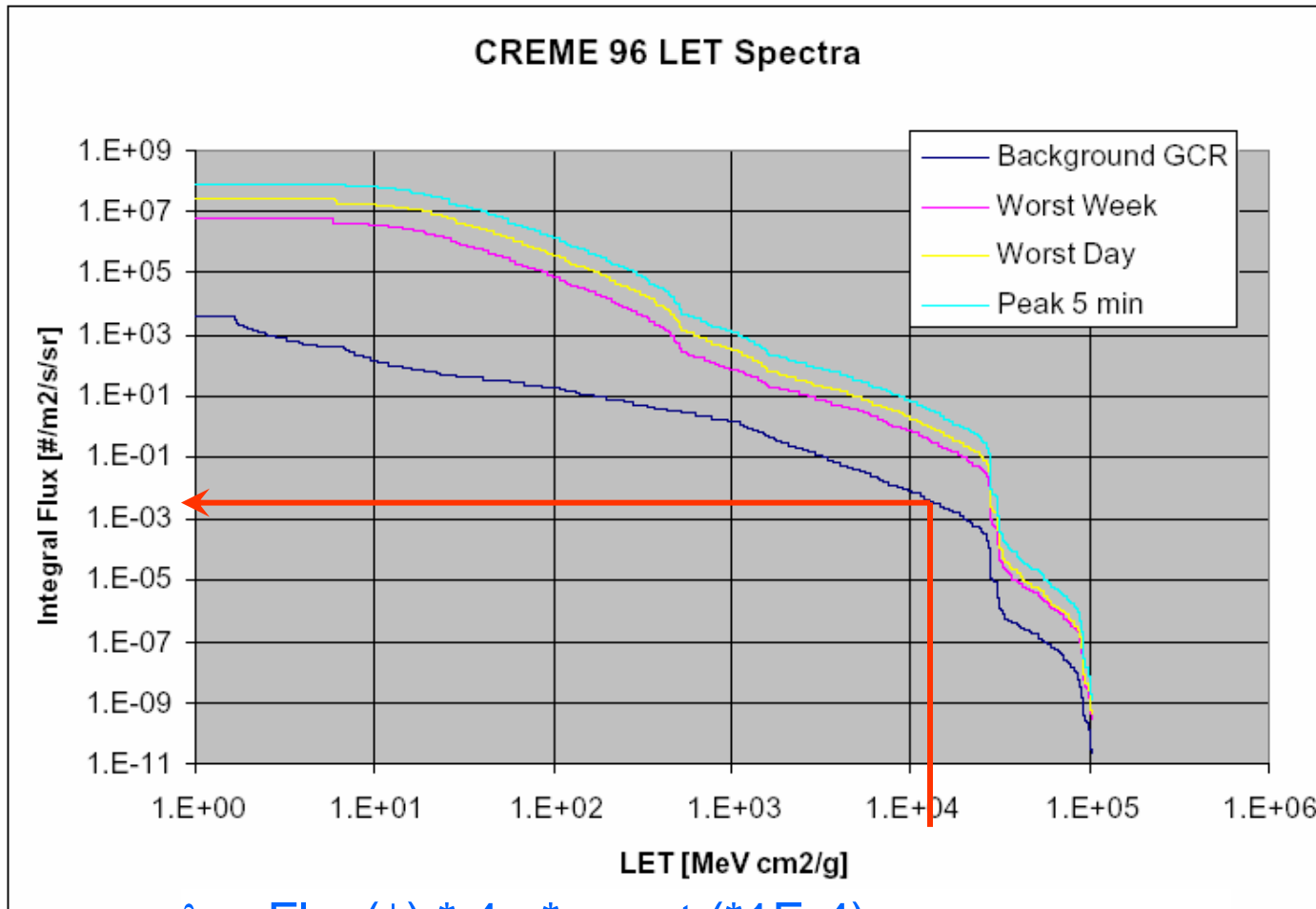
**FPGA espacial:**  
precio ~ 27000\$  
(cada chip)

## Diseñando teniéndolo en cuenta los SEEs

- Polarizando los dispositivos con muchos márgenes de funcionamiento (p.ej. Mosfet)
- Detectando las sobre-corrientes de SEL y apagando los dispositivos
- Incluyendo filtros en los dispositivos lineales
- Uso de “watch-dog”



Protección contra Latch-up implementada por Crisa en la Electrónica de la Cámara de Navegación de las sonda Rosetta.



$$\lambda = \text{Flux}(\phi) * 4\pi * \text{xsect} (*1E-4), \text{ con x-sect en cm}^2/\text{bit}$$

Ejemplo ASIC MH1RT: LET<sub>th</sub>=15Mev/cm<sup>2</sup>.mg; X-sect=0.25E-6 cm<sup>2</sup>/bit

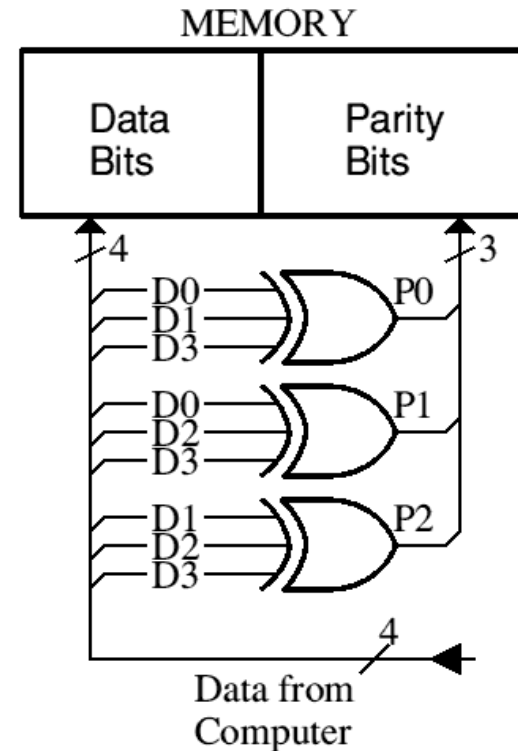
Flux (GCR) = ~5E-3 → λ = 1.5E-12 (errors/bit/s) !!

# Crisa

Source: www.amsat.org

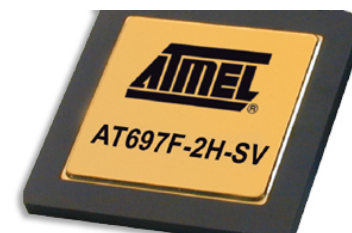
## Usando mecanismos de detección y corrección de SEUs

- Bit de paridad
- Códigos más potentes de redundancia
  - Dispositivos tipo EDAC (Error Detection And Correction)
  - Códigos cíclicos de redundancia (CRC), códigos Hamming, ...



Bit position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Encoded data bits	p1	p2	d1	p4	d2	d3	d4	p8	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	p16	d12	d13	d14	d15
Parity bit coverage	p1	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
	p2		X	X		X	X		X	X		X	X		X		X	X		X
	p4				X	X	X	X				X	X	X	X					X
	p8								X	X	X	X	X	X	X					
	p16															X	X	X	X	X

Source: Wikipedia



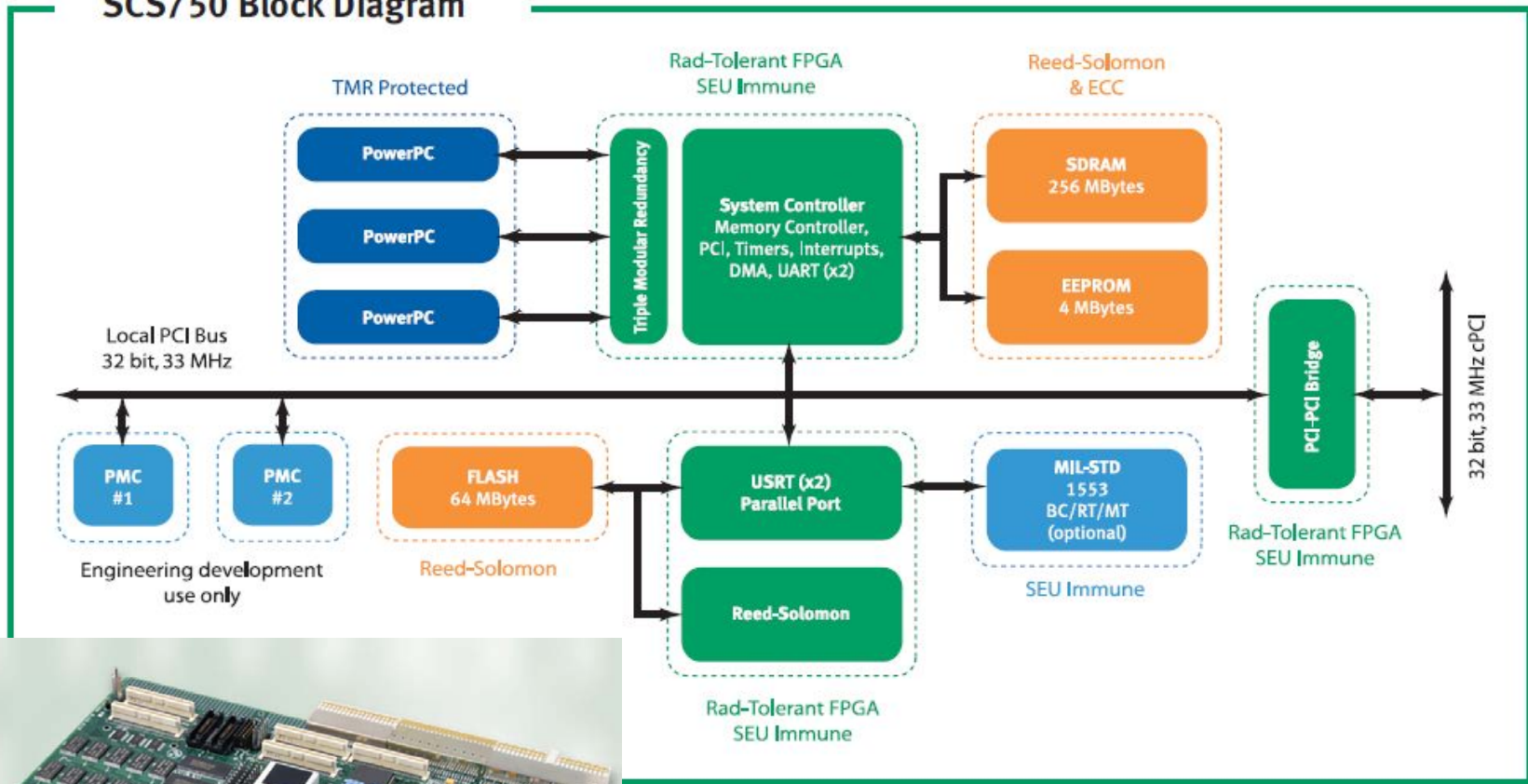
Microprocesador Leon2-FT de Atmel



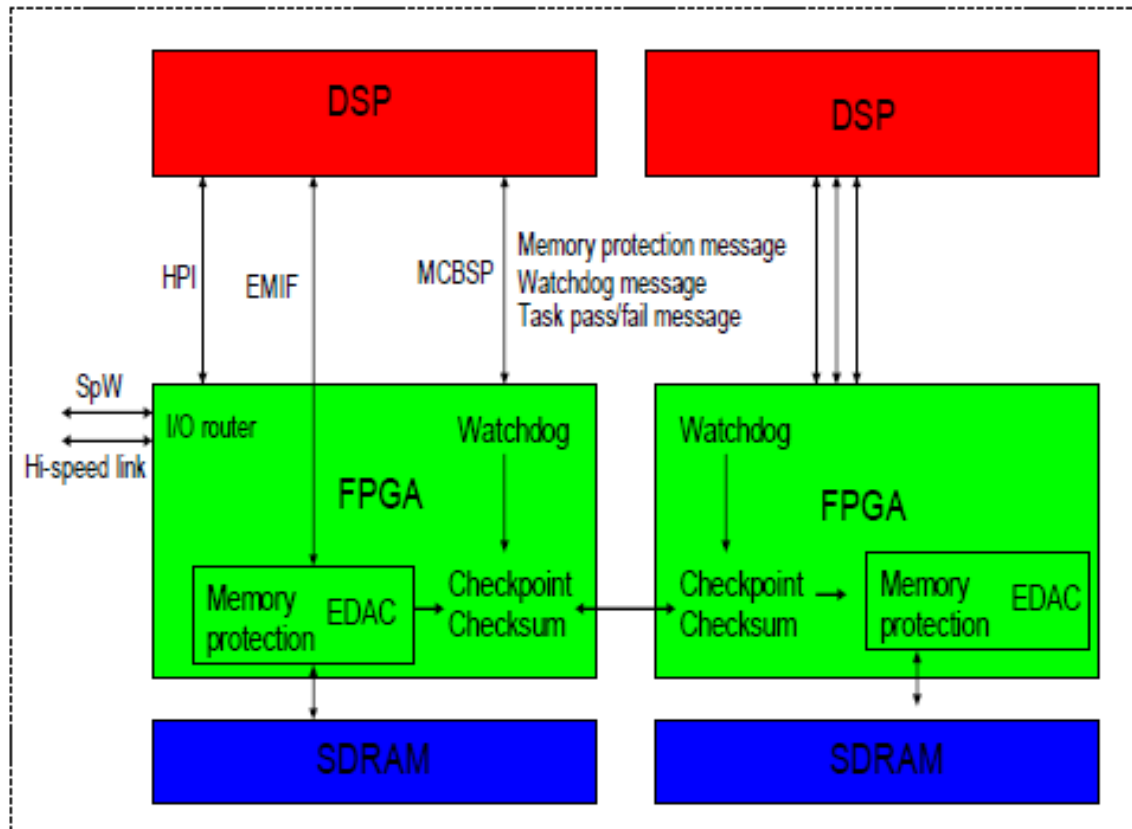


## Solución alternativa: Arquitecturas tolerantes (I)

SCS750 Block Diagram



## Solución alternativa: Arquitecturas tolerantes (II)



# Crisa

# 6 Conclusiones

All the space you need



## Conclusiones

- El 'Clima Espacial' puede degradar considerablemente los sistemas electrónicos espaciales e incluso provocar averías permanentes.
  - Para evitarlo, deben analizarse los requisitos ambientales de cada misión y utilizarse componentes y arquitecturas tolerantes a los diferentes efectos de la radiación.
- La radiación puede provocar también 'eventos simples' peligrosos en sistemas terrestres de alta fiabilidad especialmente en plataformas aéreas pero también potencialmente a nivel de la superficie terrestre.
  - Deben tenerse en cuenta en el diseño de dichos sistemas



# Crisa

¡ Gracias por su atención !

## Info de contacto:

**Crisa**

**Calle Torres Quevedo 9 (Parque Tecnológico de Madrid)**

**28760 Tres Cantos (Madrid)**

**Teléfono: +34 91 8068600**

**Telefax: +34 91 8060235**

**Dirección Técnica: Jose Moreno ([jmoreno@crisa.es](mailto:jmoreno@crisa.es))**

**Info. General : [info@crisa.es](mailto:info@crisa.es)**

All the space you need

